

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2002 年 10 月 17 日 (17.10.2002)

PCT

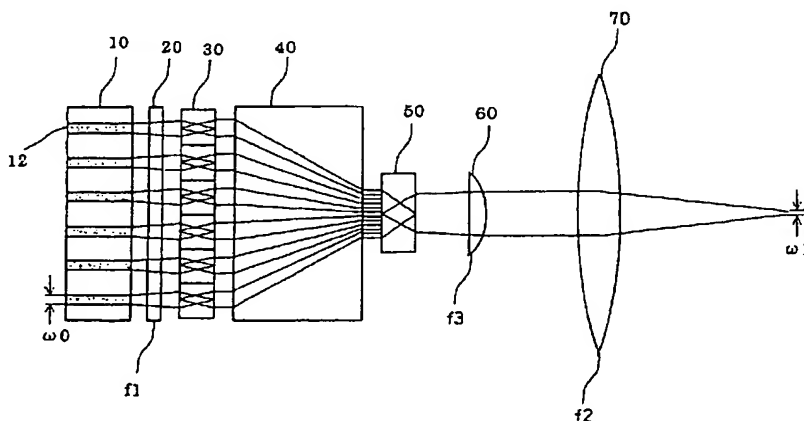
(10) 国際公開番号
WO 02/082163 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 27/00 (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 山口 哲 (YAMAGUCHI, Satoshi) [JP/JP]; 〒870-0397 大分県 大分市 大字一木 1 7 2 7-1 6 2 日本文理大学 工学部 内 Oita (JP). 浜田 直也 (HAMADA, Naoya) [JP/JP]; 〒293-8511 千葉県 富津市 新富 2 0-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内 Chiba (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/02314
- (22) 国際出願日: 2002 年 3 月 12 日 (12.03.2002)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2001-101454 2001 年 3 月 30 日 (30.03.2001) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 新日本製鐵株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8071 東京都 千代田区 大手町 二丁目 6 番 3 号 Tokyo (JP). 学校法人文理学園 (NIPPON BUNRI UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒870-0397 大分県 大分市 大字一木 1 7 2 7-1 6 2 Oita (JP).
- (74) 代理人: 石田 敬, 外 (ISHIDA, Takashi et al.); 〒105-8423 東京都港区 虎ノ門 三丁目 5 番 1 号 虎ノ門 3 7 森ビル 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): CA, CN, JP, KR, US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR LASER DEVICE AND SOLID LASER DEVICE USING THE SAME

(54) 発明の名称: 半導体レーザ装置およびそれを用いた固体レーザ装置



(57) Abstract: A semiconductor laser device increased in energy density at the focus; and a semiconductor laser excitation solid laser device using the same. A row of dotted-line-wise series-connected laser beams are disposed in front of stack array laser elements emitting a group of two-dimensional array-like parallel laser beams, each row of laser beams refracted substantially normal to the direction of the dotted lines and collimated are received, the direction of the laser beams from emitters or a group of emitters is turned through a right angle and the laser beams are emitted, whereby the laser beams are converted into a plurality of rows of laser beams paralleled substantially in a ladder form, which rows of laser beams are beam-compressed into a row of laser beams, the latter being converted into a series disposition, a row of parallel compressed laser beams are turned through a right angle and emitted, whereby all laser beams are converted into a group of laser beams paralleled in a single row, the group of laser beams being collimated and converged to a focus.

[続葉有]



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイドランスノート」を参照。

(57) 要約:

焦点におけるエネルギー密度を高くした半導体レーザ装置およびそれを用いた半導体レーザ励起固体レーザ装置を提供するもので、点線状に直列したレーザビーム列がさらに並列した2次元アレイ状のレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザ素子の前面に配設され、その点線の向きに対してほぼ垂直な方向に屈折してコリメートされた各レーザビーム列を受光し、各エミッタまたは各エミッタ群からのレーザビームの向きを直角に旋回して放射することにより、実質的な梯子状に並列した複数列のレーザビーム列に変換し、このレーザビーム列をビーム圧縮した並列レーザビーム列がさらに1列に直列した配列に変換し、さらに各圧縮された並列レーザビーム列を直角に旋回して放射することにより、全てのレーザビームが1列に並列したレーザビーム群に変換し、このレーザビーム群をコリメートして焦点に収斂する。

明 細 書

半導体レーザー装置およびそれを用いた固体レーザー装置

技術分野

本発明は、スタックアレイレーザーダイオードに用いるビーム変換器、および、ビーム変換器を用いたレーザー装置に関するものである。本発明は、さらに、半導体レーザー光を微小スポットに集光する半導体レーザー集光器、半導体レーザー光で固体レーザー素子を光励起する半導体レーザー励起固体レーザー装置に関するものである。

背景技術

レーザー加工や医用目的に使用するレーザーとして、YAG (yttrium aluminium garnet) が用いられてきた。しかし、固体レーザーであるYAGレーザーは、電気→光の変換効率が低い。これは、従来型のYAGレーザーは、固体レーザーの励起に用いられるXeランプやフラッシュランプの発光効率が低く、また、その発光スペクトル帯域も広いため、発光エネルギーのうち小さな部分しか固体レーザー励起に使用できないことによる。このため、大きな装置と冷却水とが、通常必要となる。

一方、半導体レーザー(LD)は発光効率高く、コンパクトで冷却装置も大がかりな装置を必要としない。最近、高出力半導体レーザーのコストが顕著に下がりつつある。レーザー加工分野においても、このような半導体レーザーを利用することが好ましい。しかしながら、半導体レーザーは、そのビーム品質が一般に悪く、しかも単一ストライプ半導体レーザーの高出力化には限りがあり、レーザー加工にそのまま用いることは困難である。

レーザ光を放射する活性層ストライプを10～100本直線的に配列し、破線状の光源を与えるマルチストライプ半導体レーザは、高出力レーザとして知られている。

半導体レーザの活性層ストライプが一次元的に配列したリニアアレイの半導体レーザとしてCW（連続発振）出力50W程度のものが入手できる。マルチストライプアレイ半導体レーザは、例えば、図1に示すように、幅が100 μ m～200 μ mの端部がエミッタとなっているストライプ10～数10本が、全幅1cmの平面内に一定間隔で配列している。

このようなりニアアレイ半導体レーザをいくつか積み重ね、図1のように、2次元アレイとすることにより、容易に出力アップを図ることができる。このような2次元アレイ半導体レーザはスタックアレイ半導体レーザと呼ばれる。

このように、1個の半導体レーザ素子からは、スタック層の数をnとして、(10～数10)×n本のレーザ光が出射する、2次元アレイ状に線分が配列した光源を与える。また、Quasi-CW半導体レーザのような高出力半導体レーザは、沢山のエミッタが密集して配列し、出射光が隣のエミッタからの出射光と出射直後に混じり合って、ほぼ連続した直線状の光源がスタック層の数だけ並列した光源を与える。

レーザ加工や医用目的にマルチストライプアレイ半導体レーザを利用するためには、狭い領域に高水準のエネルギーを集中する工夫が必要である。各ストライプ光は各々扁平な光源から発したものであり、ビーム発散角は活性層に対し垂直成分 ϕ が大きく、約40°～50°であり、平行成分 θ は小さく、約10°である。発光源の幅は垂直成分が狭く1 μ m以下であり、平行成分は広く上述のように100 μ m～200 μ mである。

以上のような半導体レーザの特性から、半導体レーザからの出射光をレンズを用いて集光して絞り込む場合、垂直成分は容易に絞ることができるが、平行成分は、光源の全幅が広く発散角が垂直成分より狭いため、微小スポットに絞ることが困難である。

スタックアレイレーザダイオードからの出射光を集光する場合、各リニアアレイ毎にシリンドリカルレンズを配して集光することにより線状スポットに集光することはできても、点状スポットに集光することは困難であった。

一方、ストライプに対して1対1にマイクロレンズを対応させて配列し、各々のストライプ光を集光しコリメートした後、集光レンズで絞り複数ビームを重畳させる方法により、比較的効率よく集束可能である。しかしながら、絞り込んだビームスポット径は、集束レンズとビームスポットとの間の距離（つまり集束レンズの焦点距離 f_2 ）と半導体レーザストライプとマイクロレンズ間距離（つまりマイクロレンズの焦点距離 f_1 ）の比で決まる倍率（ f_2/f_1 ）を光源の幅に掛けた値になる。

従って、ビームスポットの長径 ω_1 （水平部分）は、ストライプの幅（ $\omega_0: 100\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ ）に上記倍率を掛けた値（ $\omega_0 \cdot f_2/f_1$ ）となる。垂直成分は光源の幅が非常に小さい（ $1\ \mu\text{m}$ 以下）ので、同じ倍率（ f_2/f_1 ）を掛けても大きなスポット径にはならない。従って、ストライプの幅方向の集束を考えると、ビームスポットを小さくして光の強度を大きくするために、マイクロレンズはストライプからなるべく放して配置した方がよい。

しかし、ストライプ光の垂直成分の発散角が大きいため、レンズ開口外に漏れる放射エネルギーが大きくなることを考えると、これは難しい。そこで、垂直成分と水平成分とを別々のシリンドリカルレンズで集光し、垂直成分集光用のレンズはストライプから至近距

離に各リニアアレイ半導体レーザに1対1に対応させて配置し、平行成分集光用のレンズは、ストライプから離してスタック層の同等なストライプ列毎に1対1に対応させて配置することが考えられる。

スタックアレイLDとして、厚さ $1\mu\text{m}$ 、幅 $200\mu\text{m}$ のストライプ12本がピッチ $800\mu\text{m}$ で配列し、このリニアアレイが、さらに数層スタックしたものがある。ストライプ光の平行成分はビーム発散角 10° を有するので、ストライプの出射端から 3.4mm のところで隣同士のストライプ光が重なり合う。その重合の後にレンズを置いたときは、一部の光はレンズの軸と角度を持つ光線となり、フォーカシングレンズの焦点と異なる点に集束するため、システムの効率を低下させる。

このため、マイクロシリンドリカルレンズアレイを用いて前記各ストライプ列からの放射光を各々コリメートするためには、 3.4mm 以内の接近した位置にレンズ（焦点距離 $f_1 \leq 3.4\text{mm}$ ）を置く必要がある。コリメート光を集束する集束レンズの焦点距離 f_2 との組み合わせで決まる倍率（ f_2/f_1 ）をストライプの幅に掛けて集束スポット径を求めると大きくならざるを得ない。

このように従来、2次元アレイ状に線分が配列した光源を与えるスタックアレイLDの出射レーザ光を小さい面積に高密度に集中させることは困難であった。

また、半導体レーザ励起固体レーザにおける固体レーザの光軸方向から光励起する端面励起方式によると、固体レーザ発振のモード空間に半導体レーザ出力光による励起空間をマッチングさせることによって高効率な単一基本横モード発振を実現し得る。

半導体レーザの活性層を二次元的に配列したスタックアレイ半導体レーザ発振素子は、 1kW 前後の出力が得られ、レーザ加工用と

して十分に使用できる出力を有している。このスタックアレイレーザ光を光学系を用いて直接集光し、十分に細いスポットに絞ることができるれば、半導体レーザ出力をレーザ加工に用いることができるはずである。

ところが、スタックアレイ半導体レーザ発生素子は、上述のとおり、半導体レーザ発生素子からの出射光をレンズを用いて集光して絞り込む場合、垂直成分は比較的容易に絞り得るが、平行成分は光源の全幅が広いために微小スポットに絞ることが困難である。

このようなスタックアレイ半導体レーザを励起光源として用いようとすると、上記したようにアレイの幅は長さ1 cm程に亘るので、通常のレンズ系を用いて複数ビームを1つのスポット状に絞り込めず、励起効率の良い端面励起方式が採用できないことから側面励起方式にしか適用できなかった。

発明の開示

上述した問題に鑑み、本発明の目的は、スタックアレイ半導体レーザを用いた半導体レーザ装置の焦点におけるエネルギー密度を高くした半導体レーザ装置を提供することにある。

本発明の目的は、スタックアレイ半導体レーザを用いた半導体レーザ装置に用いて、半導体レーザ装置の焦点を極めて小さくしてエネルギー密度を高くすることを可能にするための新規なビーム変換器を提供することにある。

本発明の更に別の目的は、上記半導体レーザ装置を用いた、強力な半導体レーザ励起固体レーザ装置を提供することにある。

上記目的を達成するため、本発明に係る半導体レーザ装置は、レーザビームを放射する細長いエミッタが、複数、その長軸方向に直線的に並び、さらに2次元的に配列したスタックアレイレーザダイ

オードと、各エミッタ、若しくは複数のエミッタからなるエミッタ群から放射されたレーザビームを、各スタック層毎にエミッタの長軸方向に対して垂直の方向に平行化（コリメート）する第1のコリメート素子と、1方向にのみ平行化されたレーザビームの各々のエミッタ若しくはエミッタ群の長軸方向をほぼ直角に旋回し、各層毎に梯子状に並列したレーザビームに変換して出力する第1のビーム変換器と、梯子状に並列したレーザビームの梯子の間隔を短縮し、各層毎に圧縮されたレーザビーム群に変換するビーム圧縮器と、圧縮された各レーザビーム群毎にその長軸方向をほぼ直角に旋回し、全てのレーザビームが梯子状に1列に並列したレーザビーム群に変換して出力する第2のビーム変換器と、第2のビーム変換器から出力されるレーザビームを前記エミッタ長軸に対応する方向に平行化する第2のコリメート素子と、2方向に平行化されたレーザビームを焦点に集光するフォーカシング素子とを備えることを特徴とする。

上記目的を達成するため、本発明の第1のビーム変換器は、スリット状に放射される光源を受光して該光線の断面中の該スリットの方向を光軸に沿ってほぼ直角に旋回させて出射する光学素子を、複数、各光学素子の受光面と出射面をそれぞれ隣接して2次元アレイ状に配列し、スタックアレイレーザダイオードの放射面に対応させたことを特徴とする。

即ち、本発明のビーム変換器は、スタックアレイ半導体レーザのライン状をした各エミッタ、若しくは各エミッタ群から放射されるレーザビームのエミッタに対応する方向を光軸に沿ってほぼ直角に旋回させるように構成されている。

上記目的を達成するため、本発明のビーム圧縮器は、粗な間隔で並列したスリット状のレーザビームが更に複数列並列して放射され

る第 1 のビーム変換器からの放射光を受光して密な間隔の並列に圧縮されたスリット状のレーザビームが 1 列に直列した配列に変換するように構成されている。

上記目的を達成するため、本発明の第 2 のビーム変換器は、密な間隔の並列に圧縮されたスリット状のレーザビームが 1 列に直列して放射されるビーム圧縮器からの放射光を受光して該圧縮レーザビームの断面中の該スリットの方を光軸に沿ってほぼ直角に旋回させて出射する光学素子を、複数、各光学素子の受光面と出射面をそれぞれ隣接してリニアに配列し、ビーム圧縮器の放射面に対応させたことを特徴とする。

即ち、第 1 のビーム変換器、ビーム圧縮器、および第 2 のビーム変換器を通して、スタックアレイ半導体レーザのライン状をした各エミッタ、若しくは各エミッタ群から放射されるレーザビームの該スリットに対応する方向を光軸に沿ってほぼ直角に 2 度旋回させることにより、全てのエミッタ若しくは各エミッタ群が 1 列に並列したエミッタ若しくはエミッタ群を与えるレーザビームに変換するように構成されている。

さらに、上記別の目的を達成するため、本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置は、上記の半導体レーザ装置から出力される該レーザビームの焦点に固体レーザ装置の励起光を入射させる端面を配置した。

図面の簡単な説明

図 1 は、スタックアレイレーザダイオードとレーザビームの指向性を説明する図である。

図 2 は、本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

図 3 は、図 2 に示した半導体レーザ装置の立面図である。

図 4 は、第 1 のビーム変換器とビーム圧縮器との間に、さらに、第 4 の集光器を用いた本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

図 5 は、図 4 に示した半導体レーザ装置の立面図である。

図 6 は、密集型エミッタ構造の半導体レーザを用いた本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

図 7 は、図 6 に示した半導体レーザ装置の立面図である。

図 8 は、光ファイバを用いた本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

図 9 は、図 8 に示した半導体レーザ装置の立面図である。

図 10 は、本発明の第 1 のビーム変換器、ビーム圧縮器、および、第 2 のビーム変換器を説明するブロック図である。

図 11 は、3 回の反射によるビーム変換の原理を、3 個の直角プリズムを用いて説明する図である。

図 12 は、斜角柱の形状をした光学素子と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 13 は、図 12 の光学素子を並列配置して得られるビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 14 は、図 13 のビーム変換器と等価の一体的なビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 15 は、図 14 のビーム変換器をスタックして得られる第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 16 は、ミラーアレイをスタックして得られる第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 17 は、シリンドリカルレンズを並列配置した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 18 は、入射面と出射面とが円柱表面を有する光学素子を並列配置した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視

図である。

図 19 は、光学ガラスのブロックから作製した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 20 は、ダブリズムを並列配置した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 21 は、バイナリオプティクスを並列配置した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 22 は、1 次元分布屈折率レンズを並列配置した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 23 は、半円柱状の分布屈折率レンズ要素を並列配置した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 24 は、アナモルフィックプリズムによるビーム圧縮器と、それによるビーム圧縮を示す斜視図である。

図 25 は、図 24 に示したビーム圧縮器と、それによるビーム圧縮を示す平面図である。

図 26 は、アナモルフィックプリズムを 2 個用いたアナモルフィックプリズムペアによるビーム圧縮器と、それによるビーム圧縮を示す斜視図である。

図 27 は、図 26 に示したビーム圧縮器と、それによるビーム圧縮を示す平面図である。

図 28 は、斜角柱の形状をした光学素子を並列配置して得られる第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 29 は、図 28 のビーム変換器と等価の一体的な第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 30 は、ミラー要素を並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 3 1 は、シリンドリカルレンズを並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 3 2 は、入射面と出射面とが円柱表面を有する光学素子を並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 3 3 は、光学ガラスのブロックから作製した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 3 4 は、ダブリズムを並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 3 5 は、バイナリオプティクスを並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 3 6 は、1次元分布屈折率レンズを並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 3 7 は、半円柱状の分布屈折率レンズ要素を並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

図 3 8 は、本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の平面図である。

図 3 9 は、図 3 8 に示した半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の立面図である。

図 4 0 は、本発明の光ファイバー導光半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の平面図である。

図 4 1 は、図 4 0 に示した光ファイバー導光半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の立面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下に添付の図面に基づいて本発明を詳細に説明する。

図 2 は、本発明の半導体レーザ装置の平面図、図 3 は、その立面

図である。

スタックアレイ半導体レーザ 10 は、幅約 10 mm の間にレーザビームを放射する 10 個から 100 個（図では便宜上 6 個表示される）の活性層ストライプ 12 を一列に配列したリニアアレイ半導体レーザを積み重ね（図では 4 層表示される）高さ 5 mm ~ 40 mm としたものである。

各活性層ストライプ 12 の断面は、例えば、幅 100 μm ~ 200 μm 、厚み 0.1 μm ~ 1 μm で、活性層ストライプの端面から放射されるレーザ光線は、厚み方向の放射角が 40° ~ 50°、幅方向の放射角が 10° で、スタックアレイ半導体レーザ 10 の発光源となっている。活性層ストライプはリニアアレイ半導体の端部に一列に並んでいるため、スタックアレイ半導体レーザは、線分が 2 次元アレイ状に配列した発光の光源を与える。

第 1 の柱状レンズアレイ 20 が、スタックアレイ半導体レーザ 10 から放射されるレーザ光を活性層ストライプの厚みの方向に集束力を有し、活性層ストライプに垂直な成分の発散光を平行にする。第 1 の柱状レンズアレイ 20 は幅方向には等しい厚みを有して、光はほぼ直進するため、レーザビームの幅方向の放射角は約 10° と変わらない。

第 1 のビーム変換器 30 が、第 1 の柱状レンズアレイ 20 から出力されるレーザビームの断面を入射光に対してほぼ 90° 回転させる。第 1 のビーム変換器 30 は、スタックアレイ半導体レーザ 10 の各活性層ストライプ 12 に 1 対 1 に対応する光学素子を各活性層ストライプに対応するように、2 次元アレイ状に配列したものである。

第 1 の柱状レンズアレイ 20 によって幅方向に約 10° の角をもって放散し厚み方向に平行光となったレーザビーム（図 3 参照）は

、第1のビーム変換器30によって、各活性層ストライプ毎に約90°回転させられるので、厚み方向に放射角約10°、幅方向に平行な光に変換される(図2参照)。なお、上記光学素子は複数の活性層ストライプを含むストライプ群に対応するようにしたものであってもよい。

このように、約90°回転しビーム変換されたレーザビームが活性層ストライプ、若しくはストライプ群の数だけ平行に並ぶので、スタックアレイ半導体レーザ10の放射光は活性層ストライプが梯子状に並列し、その並列が、さらに複数並列して2次元的に配列したものと実質的に同じものとなる。

ビーム圧縮器40が梯子状に並列したレーザビームの梯子の間隔を短縮しレーザビームを圧縮する。このような圧縮されたレーザビームが、さらに、スタックアレイ半導体レーザの高さ方向に1列に直列することになる。

第2のビーム変換器50が、ビーム圧縮器40から出力される圧縮レーザビームの断面をまとめて入射光に対してほぼ90°回転させる。第2のビーム変換器50は圧縮光学系40からの圧縮レーザビームに1対1に対応する光学素子を圧縮レーザビームに対応するように、スタックアレイ半導体レーザの高さ方向に直線的に配列したものである。

その結果、全ての活性層ストライプから出射したレーザビーム群は1列に並列したレーザビーム群となる。なお、上記1列に並列したレーザビーム群の並列要素は、前述のように、複数の活性層ストライプを含むストライプ群に対応するようにしたものであってもよい。

第2の柱状レンズ60がスタックアレイ半導体レーザの高さ方向に平行に設けられている。スタックアレイ半導体レーザ10から放

射され柱状レンズアレイ 20 と第 1 のビーム変換器 30、ビーム圧縮器 40、第 2 のビーム変換器 50 を通過したレーザ光は、活性層ストライプ毎に活性層ストライプに垂直な成分が平行光、幅方向の放射角は 10° になっているが、これらが並列して並んでいるから、レーザビーム全体は半導体レーザの活性層に平行な方向における放射角が約 10° 程度となる。第 2 の柱状レンズ 60 は、このレーザ光を受容して幅方向について平行光にするため、レーザ光はいずれの方向についても平行な光になる。

集束レンズ 70 が第 2 の柱状レンズを通過して完全な平行光となったレーザビームを小さなビームスポットに集束する。ここで、第 1 の柱状レンズ 20 の焦点距離 f_1 、第 2 の柱状レンズ 60 の焦点距離を f_3 、集束レンズ 70 の焦点距離を f_2 、活性層ストライプの幅を ω_0 、厚みを d_0 とすると、一個の活性層ストライプからのレーザのビームスポットの幅 ω_1 、厚み d_1 は、次のようにして求められる。

$$d_1 = d_0 \cdot f_2 / f_1$$

$$\omega_1 = \omega_0 \cdot f_2 / f_3$$

従って、鋭いスポットを得るためには f_1 および f_3 は大きいほどよい。ここで、 ω_0 が $100\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ 、 d_0 が $0.1\ \mu\text{m} \sim 1\ \mu\text{m}$ であることを考慮すれば、 f_1 の大きさは f_3 と比較して問題にならない。 ω_0 が $200\ \mu\text{m}$ 、ストライプの配列ピッチが $800\ \mu\text{m}$ 、活性層ストライプ長軸方向の放射角 10° 、さらに、スタック層の配列ピッチが $4\ \text{mm}$ の例では、隣のストライプからのレーザはストライプ出射端面から $3.4\ \text{mm}$ の距離で長軸方向に重なる。

従って、本発明によらないときは、出力エネルギーを効率よく利用するためには、第 1 および第 2 の柱状レンズは、ともにストライプ表面から $3.4\ \text{mm}$ 以下の距離に設ける必要があり、レーザビームを平行化するためには、 f_1 と f_3 は最長でも $3.4\ \text{mm}$ でなければ

ならないことになる。

しかし、 f_1 が3.4 mmより小さい適当な値を持つ第1の柱状レンズと第1のビーム変換器をストライプ出射端面から3.4 mm以下の距離に置き、第1のビーム変換器によりレーザビームを回転させると、活性層に平行な方向については、レーザビームは平行光となり相互に重畳することがない。

そして、活性層に垂直な方向に約 10° の広がりをもつようになる。その結果、活性層に垂直な方向について、隣のスタック層のレーザはストライプ表面からの光路長21.7 mmの位置で重なる。そこで、ビーム圧縮器と第2のビーム変換器を21.7 mm以下の位置に置き、第2のビーム変換器によりレーザビームを回転させると、活性層に垂直な方向については平行光となり相互に重畳することがない。そして、活性層に平行な方向に約 10° の広がりをもつようになる。

この放射光を第2の柱状レンズで平行光にするためには焦点距離 f_3 を十分大きな値に取る。即ち、 f_3 は3.4 mmや21.7 mmに制約されることなく適当な値を選択することができ、例えば、集束レンズの焦点距離 f_2 と同じ値を選んだときはビームスポットの幅 ω_1 は200 μm となる。

このように、本発明のレーザ装置によればビームスポットの幅 ω_1 と厚み d_1 を十分小さな値にすることが可能になり、リニアアレイレーザダイオードの出力を効率的に利用した強力なレーザを得ることができる。従って、本発明のレーザ装置はレーザ加工やレーザメスとして医療用に用いることができる。

図4は、第1のビーム変換器とビーム圧縮器の間に第2の柱状レンズアレイを挿入した本発明の半導体レーザ装置の平面図、図5は、その立面図である。第2の柱状レンズアレイ80は、活性層に平

行な方向に集束力を有するが、柱状レンズ 60 と合わせた複合光学系により、スタックアレイ半導体レーザ 10 から放射されるレーザ光の活性層ストライプの幅方向の発散光を平行にする。第 2 の柱状レンズアレイを挿入することにより、隣のス tack 層のレーザが重なり合う位置までのトライプ表面からの光路長を延長することができる。ビーム圧縮器を配置するスペースに余裕を与えることができる。

なお、この柱状レンズアレイ 80 は、あくまでビーム変換器とビーム圧縮器の間隔余裕を確保するために挿入するものであって、活性層ストライプアレイ方向の発散角を補正しコリメートすることを目的とするものではない。これは前述したごとく、この方向の集光径 ω_1 は柱状レンズアレイ（この場合はレンズアレイ 60 と 80 の複合焦点距離） f_3 に反比例することから、 f_3 はなるべく大きな値としたい、という点に由来する。

従って、柱状レンズアレイ 80 を挿入した場合にも、さらに柱状レンズアレイ 60 を設置することが望ましい。

図 6 は、スタックアレイレーザダイオードとして発光部分の密度が高い疑似連続発振レーザダイオード *Quasi-CW-LD* 等を用いる場合の本発明の半導体レーザ装置の平面図、図 7 は、その立面図である。スタックアレイレーザダイオード 10 には多数の活性層ストライプ 12 が高密度に設けられていて、実質的に区切りのない直線状発光部を形成している。

第 1 のビーム変換器 30 は、活性層ストライプのサイズと関係なく、或いは、所定数のストライプに対応する寸法を有する光学素子を、適当数、直線的に配列したものである。第 1 の柱状レンズアレイ 20、第 1 のビーム変換器 30、ビーム圧縮器 40、第 2 のビーム変換器 50、第 2 の柱状レンズ 60、集束レンズ 70 の位置や作

用は、図 2 および図 3 に説明したものと同一である。

このように活性層ストライプの幅が短い、その間隔が狭いレーザダイオードを用いるときには、第 1 のビーム変換器の光学素子を活性層ストライプと 1 対 1 に対応させるとビーム変換器の製作が困難になる。本態様は、その代わりに、適当な数の活性層ストライプを群にまとめてこれに対応させたものである。また、レーザダイオードの発光部を点線状と見る代わりに 1 本のストライプと見なして、これを光学素子で適当に区分して旋回させて、実質的に、梯子状に発光するレーザダイオードに変化させたものとも考えることもできる。

図 8 は、光ファイバ 90 を用いた本発明に係るレーザ装置の平面図、図 9 はその立面図である。上記レーザ装置が形成するレーザスポットの位置に光ファイバ 90 の受光面を配置し、レーザ 10 から放射されるレーザエネルギーを受容して光ファイバ 90 の他端面側に伝達するようにしたものである。

光ファイバ 90 の長さ、可撓性とにより、簡単に、目的の場所に発光部を持ち込んで作業ができるような、使いやすいレーザ装置を得ることができる。なお、800W の出力を有するスタックアレイレーザダイオード 10 を光源とし、コア径 400 μm の光ファイバ 90 の入射面に、コアの断面より小さいレーザスポットを形成するように構成したレーザ装置は 60% の効率を達成している。

図 10 は、本発明の第 1 のビーム変換器 30、ビーム圧縮器 40、及び第 2 のビーム変換器 50 からなる光学系を説明するブロック図である。第 1 のビーム変換器 30 は、図 10 にあるように、2 次元アレイ状に光学素子 32 を適当な数だけ連結して形成されている。第 1 のビーム変換器の幅および高さは、スタックアレイレーザダイオードの発光面に対応させる。

光学素子 32 は、図 10 にあるように第 1 のビーム変換器の幅方向に活性層ストライプの軸方向を有するレーザビーム 36 を面に垂直に受光する受光面と、光学素子内部で光軸に沿って光路を捻る処理を受けて光路を変換されたレーザビーム 37 を面から垂直に出力する出力面とを有する。光学素子 32 は、例えば、繰り返し間隔 $800\ \mu\text{m}$ で並んでいる活性層ストライプから放射される水平にストライプ長軸方向を有するレーザビーム 36 を受容し、受容したレーザビームの断面の向きをほぼ 90° 旋回してストライプ軸方向が垂直になるような変換をする。

第 1 のビーム変換器 30 に用いる光学素子 32 は、一般には、第 1 のビーム変換器を組み込むレーザ装置に使用するスタックアレイレーザダイオード 10 の活性層ストライプ 12 に 1 対 1 で対応するようにする。従って、例えば、繰り返し間隔 $800\ \mu\text{m}$ で活性層ストライプが 12 個並び、さらに、それらが $4\ \text{mm}$ 毎に 4 層積み重なったスタックアレイレーザダイオードを使用する場合には、第 1 のビーム変換器は、繰り返し間隔 $800\ \mu\text{m}$ で光学素子を 12 個並び、さらに、それらを $4\ \text{mm}$ 毎に積み重ねたものとなる。

しかし、図 6 に示した例にあるように、活性層ストライプが高密度に並んでいる場合には、レーザビームを 1 本の連続波から放射されたものと見なして、第 1 のビーム変換器に受光するレーザを適当な間隔で区切って、その部分毎に約 90° レーザビームを旋回して用いることにより、実質的に、その間隔を幅として有する梯子状発光部を持ったリニアアレイレーザダイオードとして、さらに、これらのリニアアレイレーザダイオードが積み重なったスタックアレイレーザダイオードとして扱うことができる。このような目的には、活性層ストライプの数によらず、適当数の光学素子を 2 次元的に並列配置すれば足りる。

スタックアレイレーザダイオードの放射面が平面であることに対応して、第1のビーム変換器30の入射面と出射面とは、第1のビーム変換器の全体に亘って、それぞれ1つの平面上に配置することがレーザ装置の構造上好都合である。

上記光学素子は、米国特許第5,513,201号に示されているとおり、いろいろな原理に基づいて形成することができる。

まず、3回の反射による捻転に基づくものである。これは、3個の直角プリズムを想定すると考えやすい。つまり、図11に示すように、3個の直角プリズムを組み合わせる。第1の直角プリズムに横向きの扁平なレーザビームを入射すると、第1、第2、第3のプリズム内での3回の全反射により90°捻れた縦向きの扁平なレーザビームとなって、第3の直角プリズムから出射する。3個の直角プリズムで果たせる機能を、図12のような1個のプリズム素子で行うことができる。

このようなプリズム素子を1次元アレイに配列し、図13のようなプリズムアレイとすれば、破線状に直列した配列のレーザビームを入射して梯子状に並列した配列のレーザビームに変換されて出射する。このようなプリズムアレイは1枚のガラス基板から、図14のようにモノリシックに形成することもできる。このようなプリズムアレイを縦に積み重ねて、図15のように、プリズム素子の2次元アレイとすれば、破線が並列した配列のレーザビームを入射して梯子が並列した配列のレーザビームに変換されて出射する。

3回の反射は、直角プリズムにおけるように、必ずしも直角である必要はなく、結果的に、破線が並列した配列のレーザビームを入射して梯子が並列した配列のレーザビームに変換されればよい。

反射面を用いる光学素子は、プリズムでなくて、適当に配置した反射鏡であってもよい。

反射鏡を用いてビーム変換器を構成する場合は、プリズムアレイにおける全反射面を反射面とするようにミラーアレイを形成すればよい。材料として、金属、金属メッキしたガラス、反射コーティングしたガラス、プラスチック、シリコン等が利用できる。微細な光学素子は、精密金型による製造或いは例えばシリコン半導体製造プロセスやLIGAプロセスを応用することにより製造可能である。シリコン結晶を利用する場合には、その劈開面を反射鏡面とすると加工も容易になる。

1次元のミラーアレイを用いれば、破線状に直列した配列のレーザービームを入射して梯子状に並列した配列のレーザービームに変換されて出射する。このようなミラーアレイを縦に積み重ねて、図16のように、ミラー要素の2次元アレイとすれば、破線が並列した配列のレーザービームを入射して梯子が並列した配列のレーザービームに変換されて出射する。

図17は、シリンドリカルレンズを並列配置した第1のビーム変換器を表す図である。この第1のビーム変換器は、シリンドリカルレンズの軸を 45° 傾けて並列配置したものを、適当な距離を有する空間を挟んで対向配置したものである。入射面に水平に入射する扁平な光線は、 45° 傾いたシリンドリカルレンズで、入射位置により異なる屈折力を受けて扁平軸が旋回し、さらに、出射面から 45° 傾いたシリンドリカルレンズで扁平軸が、合計ほぼ 90° 旋回して出射面から出射する。

第1のビーム変換器を使用することにより、スタックアレイレーザーダイオードからのストライプ光は実質的に梯子が並列した配列に変化する。 45° に傾斜したシリンドリカルレンズの配列が隣接するリニアアレイLD層のストライプの配列と合わない場合は、リニアアレイLD層と対応するようにシリンドリカルレンズアレイを傾

域に分けて切断し、ストライプと合致するようにずらすとよい。

図18は、入射面と出射面とが円柱表面を有し側面が平行で内部が稠密になっている光学ガラス製光学素子を複数接合した第1のビーム変換器を示す。この光学素子も一種のシリンドリカルレンズである。光学素子は水平面に対して 45° 傾斜している。入射面に水平に入射する扁平な光線は、 45° 傾いた入射面の円柱表面で生じる異なる屈折力を受けて扁平軸が旋回し、さらに、出射面の 45° 傾いた円柱表面で扁平軸がほぼ 90° 旋回して出射面から出射する。第1のビーム変換器を使用することにより、スタックアレイレーザダイオードからのストライプ光は、実質的に梯子が並列した配列に変化する。

ストライプ光間隔と整合する場合は、側面が平行面である必要はなく、断面が真円であるシリンドリカルレンズを利用することも可能である。 45° に傾斜したシリンドリカルレンズの配列が隣接するリニアアレイLD層のストライプの配列と合わない場合は、前記と同様、リニアアレイLD層と対応するようにシリンドリカルレンズアレイを領域に分けて切断し、ストライプと合致するようにずらすとよい。

図19は、光学ガラスのブロックから作製した第1のビーム変換器を示す。本ビーム変換器は、断面が長方形をした光学ガラス製角柱の入射面と出射面に同じ方向に 45° 傾いた円柱表面を複数形成したもので、図18のビーム変換器と同じ機能を有するものである。 45° に傾斜した円柱表面の配列が隣接するリニアアレイLD層のストライプの配列と合わない場合は、前記と同様、リニアアレイLD層と対応するように円柱表面アレイを領域に分けて切断し、ストライプと合致するようにずらすとよい。

図20は、ダブリズムを複数配設した第1のビーム変換器を示

す。光学素子は水平面に対して 45° 傾斜している。入射面に水平に入射する扁平な光線は、入射位置により底面での反射位置が異なるため出射面では垂直に出射する扁平な光線となる。従って、扁平軸がほぼ 90° 旋回して出射する。第1のビーム変換器を使用することにより、スタックアレイレーザダイオードからのストライプ光は、実質的に梯子が並列した配列に変化する。隣接するダブリズムを接合する場合は必要に応じてダブリズムの底面を反射コーティングしておくといよい。

ビーム変換器は回折を利用する光学素子を使用したものであってもよい。図21はバイナリオプティクスを利用する光学素子を示す図である。該光学素子は透明板に中心軸を 45° 傾けて配列し、各中心軸に垂直な方向に、中心軸に対して対称に深さが変化する多数の溝を設け階段状としたものである。溝の深さは、回折を利用して中心から外に向かうに連れて回折角を増すように変化する。出射面における階段状表面は入射面における階段状表面と面对称となるように刻まれている。入射面に水平に入射する扁平な光線は、中心軸が 45° 傾いた階段状表面で、入射位置により異なる屈折力を受けて扁平軸が旋回し、さらに、出射面から中心軸が 45° 傾いた階段状表面で扁平軸が、合計 90° 旋回して出射面から出射する。このようなバイナリオプティクスは光学ガラスやプラスチックからなり、半導体製造プロセスによる製造の他、金型を用いて製造することも可能である。

図22は、中央面で最も屈折率が高く側面に近づくほど屈折率が低くなる光学ガラス体からなる1次元分布屈折率レンズを複数接合した第1のビーム変換器を示す。1次元分布屈折率レンズは水平面に対して 45° 傾斜している。入射面に水平に入射する扁平な光線は、 45° 傾いた中央面に向かう屈折力を受けて扁平軸がほぼ 90°

° 旋回して出射面から出射する。

図 2 3 は、光学ガラス板の両面に、同じ方向にそれぞれ対になるほぼ半円柱状の分布屈折率レンズ要素を対向配置したものを複数形成した第 1 のビーム変換器を示す。半円柱の中心軸は水平面に対して 45° 傾斜しており、半円の中心が最も屈折率が高く、外側になる程屈折率が低くなっている。光学ガラス板の両面は入射面および出射面になっており、入射面に水平に入射する扁平な光線は、45° 傾いた分布屈折率レンズ要素で、入射位置により異なる屈折力を受けて扁平軸がほぼ 90° 旋回して出射面から出射する。

図 2 4 は、アナモルフィックプリズムを用いたビーム圧縮器を表す斜視図、図 2 5 は、その平面図である。アナモルフィックプリズムに一定の幅を持った平行光線を入射すると、屈折効果により幅が短縮されたビームに変換されてアナモルフィックプリズムから出射する。

図 2 6 の斜視図、および、その平面図である図 2 7 に示すように、アナモルフィックプリズムをもう 1 個用意しアナモルフィックプリズムペアとすると、2 度の屈折効果により、さらに幅が短縮されるばかりでなく、入射光軸に対し出射光軸は平行移動するのみで方向は変わらない。

第 1 のビーム変換器から出射した、梯子状に並列したレーザビーム列が更に複数並列し 2 次元配列したレーザビーム群は、アナモルフィックプリズムによりビーム圧縮され、各々のレーザビーム列について列が圧縮され梯子の間隔が短縮したレーザビーム列に変換される結果、これら圧縮レーザビーム列が 1 列に直列した配列に変換される。

さらに、もう 1 組のアナモルフィックプリズムペアを用意し、合計 4 枚のアナモルフィックプリズムを使用すると、出射光軸を入射

光軸のほぼ前方に位置させることができる。勿論、光軸の向きが変化することを厭わなければ、1個のアナモルフィックプリズムのみ使用してもよい。

第2のビーム変換器50は、図10にあるように、1次元アレイ状に光学素子52をスタックアレイレーザダイオードのスタック層の数だけ連結して形成されている。第2のビーム変換器50に用いる光学素子52は、ビーム圧縮器40から出射した各圧縮レーザビーム列に1対1に対応するようにする。光学素子52は第1のビーム変換器30に用いる光学素子32と同じ原理で入射したレーザビームを90°捻転する。従って、圧縮された並列レーザビーム列が、さらに直列したレーザビーム群がビーム圧縮器から出射し第2のビーム変換器に入射すると、圧縮された並列レーザビーム列が90°捻転する結果、全てのレーザビーム要素が1列に並列した配列となる。

上記光学素子は、第1のビーム変換器に用いた種々の原理に基づいて形成することができる。

まず、3回の反射による捻転に基づくものである。図28のように、縦向きの扁平なレーザビームが横に並列したものを入射すると、3回の反射により90°捻れた横向きの扁平なレーザビームが縦に並列したものとなって出射するプリズム素子を1次元アレイに配列すれば、圧縮された並列レーザビーム列がさらに直列したレーザビーム群を入射して、全てのレーザビーム要素が1列に並列した配列に変換されて出射する。このような1次元アレイは1枚のガラス基板から図29のようにモノリシックに形成することもできる。

3回の反射は直角プリズムに於けるように必ずしも直角である必要はなく、結果的に、圧縮された並列レーザビーム列が、さらに直列したレーザビーム群を入射して全てのレーザビーム要素が1列に

並列した配列に変換されればよいことは第1のビーム変換器の場合と同様である。

また、反射面を用いる光学素子はプリズムでなくて適当に配置した反射鏡であってもよい。

図30のように、3回の反射により90°捻れた横向きの扁平なレーザービームが縦に並列したものとなって出射するミラー要素を1次元アレイに配列すれば、圧縮された並列レーザービーム列がさらに直列したレーザービーム群を入射して、全てのレーザービーム要素が1列に並列した配列に変換されて出射する。

図31は、シリンドリカルレンズを並列配置した第2のビーム変換器を表す図である。このビーム変換器は、シリンドリカルレンズの軸を45°傾けて並列配置したものを適当な距離を有する空間を挟んで対向配置したものである。

入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザービーム列は、45°傾いたシリンドリカルレンズで入射位置により異なる屈折力を受けてビーム列の断面が旋回し、さらに、出射面から45°傾いたシリンドリカルレンズでビーム列の断面が合計ほぼ90°旋回して出射面から出射する。

第2のビーム変換器を使用することにより、ビーム圧縮器からの圧縮された並列レーザービーム列が、さらに直列したレーザービーム群は、実質的に、全てのレーザービームが梯子状に1列に並列した配列に変換される。このとき、全ての梯子の間隔が同一である必要はない。

図32は、入射面と出射面とが円柱表面を有し側面が平行で内部が稠密になっている光学ガラス製光学素子を複数接合したビーム変換器を示す。光学素子は水平面に対して45°傾斜している。入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザービーム列は、45°傾い

た入射面の円柱表面で生じる異なる屈折力を受けてビーム列の断面が旋回し、さらに、出射面の 45° 傾いた円柱表面でビーム列の断面がほぼ 90° 旋回して出射面から出射する。

第2のビーム変換器を使用することにより、ビーム圧縮器からの圧縮された並列レーザビーム列が、さらに直列したレーザビーム群は、実質的に、全てのレーザビームが梯子状に1列に並列した配列に変換される。このとき、全ての梯子の間隔が同一である必要はない。圧縮された並列レーザビーム列と隣接のビーム列との間隔と整合する場合は、側面が平行面である必要はなく、断面が真円であるシリンダレンズを利用することも可能である。

図33は、光学ガラスのブロックから作製した第2のビーム変換器を示す。本ビーム変換器は、断面が長方形をした光学ガラス製角柱の入射面と出射面に同じ方向に 45° 傾いた円柱表面を複数形成したもので、図32のビーム変換器と同じ機能を有するものである。

図34はダブリズムを利用した第2のビーム変換器を示す。入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザビーム列は、 45° 傾いたダブリズムの入射面で屈折し、入射位置の違いが底面で異なる反射位置を与えるため出射面ではビーム列の断面がほぼ 90° 旋回して出射面から屈折して出射する。隣接するダブリズムを接合する場合は必要に応じてダブリズムの底面を反射コーティングしておくといよい。

図35はバイナリオプティクスを利用した第2のビーム変換器を示す。本ビーム変換器は、入射面と出射面に同じ方向に中心軸が 45° 傾いた階段状表面を複数形成したものである。入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザビーム列は、 45° 傾いた入射面の階段状表面で生じる異なる屈折力を受けてビーム列が旋回し、さら

に、出射面の 45° 傾いた階段状表面でビーム列の断面が 90° 旋回して出射面から出射する。

図 3 6 は 1 次元分布屈折率レンズを利用した第 2 のビーム変換器を示す。本ビーム変換器は、中央面で最も屈折率が高く側面に近づくほど屈折率が低くなる光学ガラス体からなる 1 次元分布屈折率レンズを 45° 傾けて複数接合したものである。入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザビーム列は、 45° 傾いた 1 次元分布屈折率レンズ内での入射位置によって異なる屈折力を受けてビーム列が旋回し、ビーム列の断面が 90° 旋回して出射面から出射する。

図 3 7 は対向配置した分布屈折率レンズ要素を利用した第 2 のビーム変換器を示す。本ビーム変換器は、光学ガラス板の両面に、同じ方向にそれぞれ対になるほぼ半円柱状の分布屈折率レンズ要素を対向配置したものを複数形成したものである。半円柱の中心軸は水平面に対して 45° 傾斜しており、半円の中心が最も屈折率が高く、外側になる程屈折率が低くなっている。入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザビーム列は、 45° 傾いた分布屈折率レンズ要素により入射位置によって異なる屈折力を受けてビーム列が旋回し、ビーム列の断面が 90° 旋回して出射面から出射する。

図 3 8 は、本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の平面図、図 3 9 はその立面図である。該半導体レーザ励起固体レーザ装置は、本発明の半導体レーザ装置を固体レーザ 95 の励起光源として使用する。スタックアレイレーザダイオードを利用した従来の半導体レーザ装置は光学系でエネルギーを集中しても横長の領域に限られ、実質的なエネルギー密度は大きくなかった。また、このエネルギーを有効に利用しようとする、固体レーザの側面励起しかできなかった。

本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置は、スタックアレイレ

ーザダイオード10の点線状発光ストライプを短い焦点距離 f_1 を有する第1の柱状レンズアレイ20により、ストライプと垂直な方向に集束した後に第1のビーム変換器30を用いて複数列の梯子状レーザビームに変換し、ビーム圧縮器40で列毎にビームを圧縮、第2のビーム変換器50で列毎にビームを旋回し全てのビームを1列に並列した配列に変換し、次いで、長い焦点距離 f_3 を有する第2の柱状レンズ60で梯子状レーザビームの横方向に集束した後に、集束レンズ70で固体レーザ素子96の受光面上の小さい領域にエネルギーを収斂させる。

本発明の半導体レーザ装置は、前述のとおり、縦方向 f_2/f_1 と横方向 f_2/f_3 とで異なる集束力を用いて、所定の狭い範囲にエネルギーを集中することができる。このため、本発明の半導体レーザ装置を利用した本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置は、スタックアレイレーザダイオード10の出力を有効活用できるとともに、固体レーザ95の端面励起をも可能にするものである。

固体レーザ素子として、YAG、YLFなど通常の固体レーザ素子のほか、Qスイッチや波長変換素子を含む固体レーザ素子も利用できる。

また、固体レーザ素子への励起光源の入射がブリュースター角をもって行われてもよい。固体レーザ素子は短吸収長レーザ結晶(YVO_4)であってもよい。本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置により、300Wの半導体レーザ素子を用いて、100WのYAGレーザ出力を得ることができた。

図40は、本発明の光ファイバー導光半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の平面図、図41は、その立面図である。該光ファイバー導光半導体レーザ励起固体レーザ装置は、本発明の半導体レーザ装置の出力を光ファイバー90で導光して固体レ

ーザ 95 の励起光源とする。光ファイバーの出力部には端部から放散されるレーザビームのエネルギーをコリメートして再度収斂させるための光学系 92 が設けられている。

このように、半導体レーザ装置部分と固体レーザ装置部分の間に柔軟な光ファイバーが介在するため、装置の自由度が飛躍的に増大し、構成が容易になる利点がある。本発明の光ファイバー導光半導体レーザ励起固体レーザ装置により、400Wの半導体レーザ素子を用いて80WのYAGレーザ出力を得ることができた。

産業上の利用可能性

本発明の半導体レーザ装置は、スタックアレイレーザダイオードが発生するレーザエネルギーは極めて小さな面積に集束させることができることから、十分にレーザ加工や医療用に用いることができる。また、本発明のビーム変換器を使用してスタックアレイ半導体レーザのエミッタを実質的に1列の梯子状に配列する効果をもたらした半導体レーザ装置は、極めて小さい焦点にスタックアレイ半導体レーザのエネルギーを集中することが可能になる。さらに、本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置は、強力な半導体レーザを活用した端面励起が可能となり、効率が高くビームの質が良い固体レーザ出力を得ることができる。

請 求 の 範 囲

1. 直線状に、かつ破線状に配列されたアレイをそれと垂直方向にスタックした二次元アレイ半導体レーザの出力ビーム群を、スタック方向に1列に配列された梯子状ビーム群に変換することを特徴とする半導体レーザのビーム配置変換器。

2. 直線状に、かつ破線状に配列されたアレイをそれと垂直方向にスタックした二次元アレイ半導体レーザと、その出力ビーム群を、スタック方向に1列に配列された梯子状ビーム群に変換するビーム配置変換器と、その出力を集光するための集光レンズから構成されることを特徴とする半導体レーザ装置。

3. 直線状に、かつ破線状に連続的もしくは擬似連続的に出射口を持つ半導体レーザ発光素子を前記直線方向と垂直方向にスタックした二次元アレイ半導体レーザの出力ビーム群を、スタック方向に1列に配列された梯子状ビーム群に変換することを特徴とする半導体レーザのビーム配置変換器。

4. 直線状に、かつ破線状に連続的もしくは擬似連続的に出射口を持つ半導体レーザ発光素子を前記直線方向と垂直方向にスタックした二次元アレイ半導体レーザと、その出力ビーム群を、スタック方向に1列に配列された梯子状ビーム群に変換するビーム配置変換器と、その出力を集光するための集光レンズから構成されることを特徴とする半導体レーザ装置。

5. レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レ

ーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器と、

前記第 1 の集光器の前面に配設され、前記第 2 の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第 1 のビーム変換器と、

前記複数列の実質的な梯子状レーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向に延びる圧縮された実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射するビーム圧縮器と、

前記ビーム圧縮器の前面に配設され、前記梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、各列毎に前記第 2 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換し、その結果、すべてのレーザビームが前記第 2 の方向に延びる 1 列の実質的な梯子状レーザビーム群に変換されて放射する第 2 のビーム変換器と、

前記 1 列の実質的な梯子状レーザビーム群を前記第 2 の方向とほぼ垂直な方向にコリメートして平行化する第 2 の集光器と、

前記第 2 の集光器から放射されるレーザビーム群を焦点に集光させる第 3 の集光器と、を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

6. レーザビームを放射する第 1 の方向に長い複数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が 2 次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第 1 の方向に長い多数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザ

ビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器と、

前記第 1 の集光器の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を分区し、分区された複数のレーザビームを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第 2 の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該分区された複数のレーザビームを単位とした前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第 1 のビーム変換器と、

前記複数列の実質的な梯子状レーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射するビーム圧縮器と、

前記ビーム圧縮器の前面に配設され、前記梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、各列毎に前記第 2 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換し、その結果、すべてのレーザビームが前記第 2 の方向に延びる 1 列の実質的な梯子状レーザビーム群に変換されて放射する第 2 のビーム変換器と、

前記 1 列の実質的な梯子状レーザビーム群を前記第 2 の方向とほぼ垂直な方向にコリメートして平行化する第 2 の集光器と、

前記第 2 の集光器から放射されるレーザビーム群を焦点に集光させる第 3 の集光器と、を備えることを特徴とする半導体レーザ装置

。

7. 前記第 1 のビーム変換器と前記ビーム圧縮器との間に配設さ

れ、前記レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 4 の集光器を備えることを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の半導体レーザ装置。

8. 前記第 3 の集光器の焦点面に端面を有する光ファイバを備えることを特徴とする請求項 5 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

9. 前記第 1 の集光器がシリンダリカルレンズの 1 次元アレイであることを特徴とする請求項 5 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

10. 前記第 4 の集光器がシリンダリカルレンズの 1 次元アレイであることを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の半導体レーザ装置。

11. 前記ビーム圧縮器がアナモルフィックプリズムまたはアナモルフィックプリズムペアであることを特徴とする請求項 5 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

12. 光軸に垂直な断面が第 1 の軸を有する入射光線を受光するための受光部と、

前記光線断面の第 1 の軸をほぼ直角に旋回させる光学系と、

前記光学系を通過した出射光線を出射する出射部とを備える複数光学素子を、前記光学素子がスタックアレイレーザダイオードの放射面上に、該各光学素子の受光部と出射部とをそれぞれ同一面上に隣接させて 2 次元的に配列したビーム変換器を第 1 のビーム変換器として用いたことを特徴とする請求項 5 ～ 11 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

13. 光軸に垂直な断面が第 1 の軸を有する入射光線を受光するための受光部と、

前記光線断面の第 1 の軸をほぼ直角に旋回させる光学系と、

前記光学系を通過した出射光線を出射する出射部とを備える複数光学素子を、前記光学素子が前記ビーム圧縮器から放射された梯子の間隔が縮まった複数列の実質的な梯子状レーザビーム群の列毎の放射面に対応するように、該各光学素子の受光部と出射部とをそれぞれ同一面上に隣接させてリニアに配列したビーム変換器を第2のビーム変換器として用いたことを特徴とする請求項5～12のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

14. 前記光学素子が、反射面で画定された空間であって、鉛直でかつ入射光線に対してほぼ 45° 傾いた前記第1の反射面と、入射光線に対し平行で水平面に対してほぼ 45° 傾いた前記第2の反射面と、入射光線に平行な鉛直面に対し垂直でかつ前記第1の反射面と第2の反射面との交線と平行で水平面に対してはほぼ 45° 傾いた前記第3の反射面とを供する空間であることを特徴とする請求項12または13に記載の半導体レーザ装置。

15. 前記光学素子が、第1の全反射面と第2の全反射面と第3の全反射面と入射面と出射面と接合面とからなるプリズムであり、第1、第2、第3の全反射面が互いに交差角 60° で交わり、互いに平行な入射面と出射面とが第2の全反射面と直交し、第1および第3の全反射面に対してはほぼ 45° 傾き、接合面が第2の全反射面と平行なプリズムであり、該プリズムが第3の全反射面と入射面と出射面とをそれぞれ同一面上に隣接させて隣り合うプリズムの接合面と第2の全反射面とを接合したプリズムの1次元アレイを請求項13に記載の第2のビーム変換器として用い、プリズムの1次元アレイをさらに並列した2次元アレイを請求項12に記載の第1のビーム変換器として用いたことを特徴とする請求項5～11のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

16. 互いに平行な第1及び第2の平面と、前記第1の平面と1

35° の挟角をもって交わる第3の平面と、前記第1の平面に対して $\tan^{-1}(1/\sqrt{2})$ の角度で交差する方向に、その稜線並びに谷線が延在する折れ曲がり角が60°をなす山と谷とが洗濯板状に連続形成された周期的屈曲面からなり、かつ、各稜線並びに角谷線が前記第3の平面と平行な第4の面を有し、前記第1の平面を入射面とし、前記第2の平面を出射面とし、前記第4の面を構成する屈曲面のうち前記第1の平面と45°の挟角をもって交わる面を第1の反射面とし、他の面を第2の反射面とし、前記第3の平面を第3の反射面とした光学ガラス体を請求項13に記載の第2のビーム変換器として用い、該光学ガラス体をさらに並列した1次元アレイを請求項12に記載の第1のビーム変換器として用いたことを特徴とする請求項5～11のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

17. 入射光軸に垂直な平面と135°の挟角をもって交わる第1の平面と前記入射光軸に垂直な平面に対して $\tan^{-1}(1/\sqrt{2})$ の角度で交差する方向に、その稜線並びに谷線が延在する折れ曲がり角が60°をなす山と谷とが洗濯板状に連続形成された周期的屈曲面からなり、かつ、各稜線並びに各谷線が前記第1の平面と平行な第2の面を有し、前記第1の平面および第2の面には鏡面処理が施され、前記第2の面を構成する屈曲面のうち前記入射光軸に垂直な平面と45°の挟角をもって交わる面を第1の反射面とし、他の面を第2の反射面とし、前記第1の平面を第3の反射面としたミラー構造体を請求項13に記載の第2のビーム変換器として用い、該ミラー構造体をさらに並列した1次元アレイを請求項12に記載の第1のビーム変換器として用いたことを特徴とする請求項5～11のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

18. 前記光学素子が、軸をほぼ45°傾けた凸型のシリンドリカルレンズの対を所定の距離空間を挟んで対向配置したものである

ことを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載の半導体レーザ装置。

19. 前記ビーム変換器が、軸をほぼ 45° 傾けた凸型のシリンドリカルレンズの対を所定の距離空間を挟んで対向配置したものを複数配列したものの 1 次元アレイであることを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載の半導体レーザ装置。

20. 前記光学素子が、側面の両端に凸型のレンズ部分を有するシリンドリカルレンズであり、該光学素子を複数、入射光線に対してほぼ 45° 傾けて接合させたものであることを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載の半導体レーザ装置。

21. 前記ビーム変換器が、側面の両端に凸型のレンズ部分を有するシリンドリカルレンズを複数、入射光線に対してほぼ 45° 傾けて接合させたものの 1 次元アレイであることを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載の半導体レーザ装置。

22. 前記ビーム変換器が、断面が長方形をなす光学ガラス製角柱の入射面と出射面とに同じ方向にほぼ 45° 傾いた円柱状表面を複数形成し、各円柱表面に入射した入射光線の断面がほぼ 90° 旋回して出射するようにしたことを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載の半導体レーザ装置。

23. 前記光学素子が、断面が台形をなすダブリズムであり、該光学素子を複数、ほぼ 45° 傾けて配設したものであることを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載の半導体レーザ装置。

24. 前記光学素子が、回折により中心軸に垂直な方向にのみパワーが変化する 2 つの光学要素を対向させ、中心軸をほぼ 45° 傾けて配設したものであることを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載の半導体レーザ装置。

25. 前記ビーム変換器が、入射側と出射側と 1 対のバイナリオ

プティクス素子を所定の距離空間を挟んで対向配置したものからなり、入射側バイナリオプティクス素子と出射側バイナリオプティクス素子の表面に、ほぼ 45° 傾いた中心軸に対して対称に、中心軸に垂直な方向にのみパワーが変化するように深さを変化させた軸対称な階段状表面を複数形成し、各軸対称な階段状表面に入射した入射光線の断面がほぼ 90° 旋回して出射するようにしたことを特徴とする請求項12または13に記載の半導体レーザー装置。

26. 前記光学素子が、屈折率が連続的に変化した構造からなり配設の向きと垂直な方向にのみパワーが変化する光学要素を水平面に対してほぼ 45° 傾けて配置したことを特徴とする請求項12または13に記載の半導体レーザー装置。

27. 前記ビーム変換器が、中央面で最も屈折率が高く側面に近づくほど屈折率が低くなる光学ガラス体からなる1次元分布屈折率レンズ要素を複数、前記中央面が水平面に対してほぼ 45° 傾けて接合させたものであることを特徴とする請求項12または13に記載の半導体レーザー装置。

28. 前記ビーム変換器が、光学ガラス板の両面に、同じ方向にそれぞれ対になるほぼ 45° 傾いた半円柱状の分布屈折率レンズ要素を対向配置したものからなり、半円の中心が最も屈折率が高く、外側になる程屈折率が低くなるレンズ要素を複数形成したものであることを特徴とする請求項12または13に記載の半導体レーザー装置。

29. 請求項5～7、9～11のいずれかの項に記載の半導体レーザー装置と、励起光受光面を有し、かつ、該励起光受光面が、請求項5～7、9～11のいずれかの項に記載の第3の集光器の焦点位置に整合された固体レーザー素子、を備えることを特徴とする半導体レーザー励起固体レーザー装置。

30. 請求項8に記載の半導体レーザー装置と、請求項8に記載の光ファイバーから出射する光をコリメートして焦点に収斂する光学系と、励起光受光面を有し、かつ、該励起光受光面が、該焦点の位置に整合された固体レーザー素子、を備えることを特徴とする半導体レーザー励起固体レーザー装置。

Fig.1

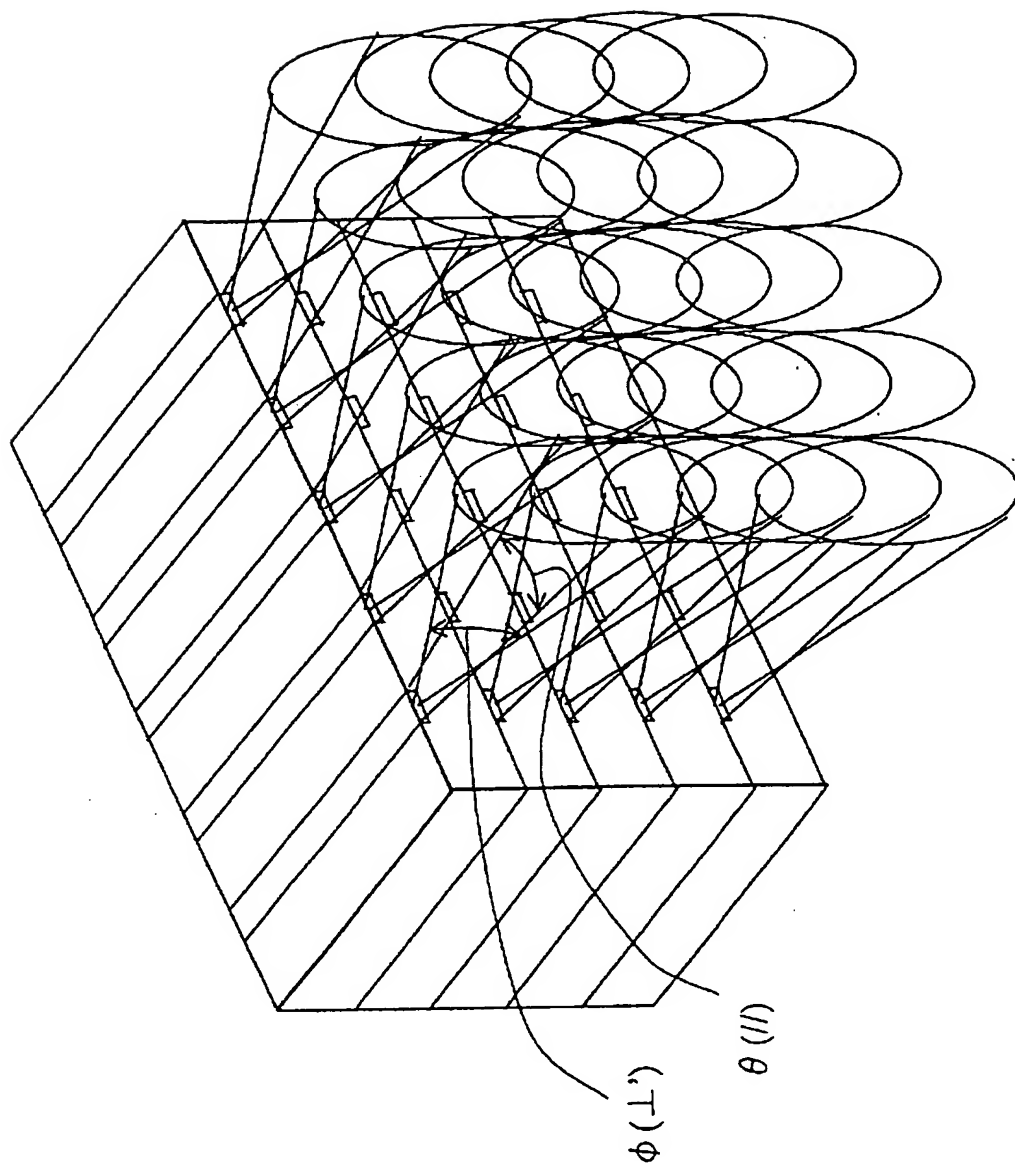


Fig.2

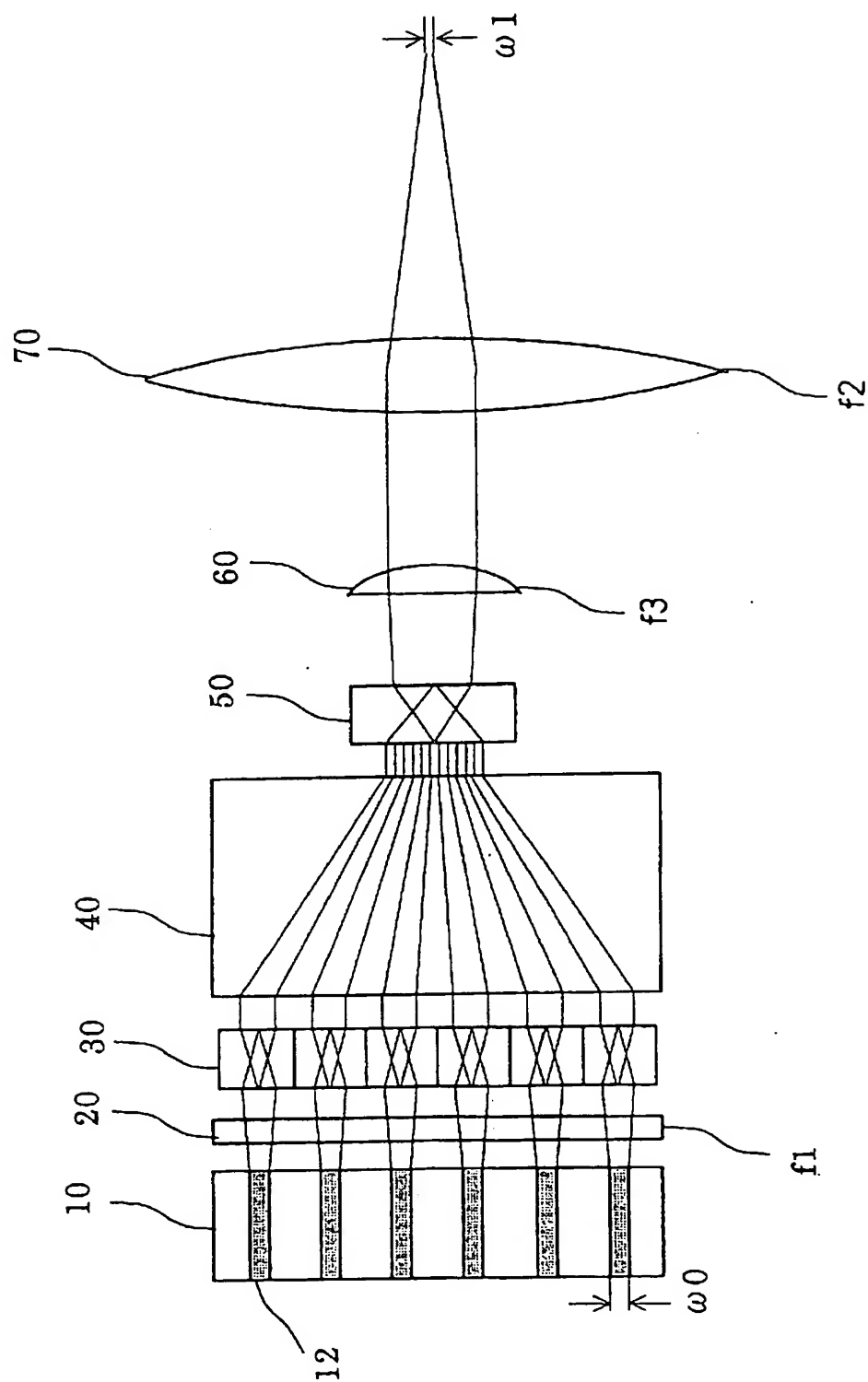


Fig.3

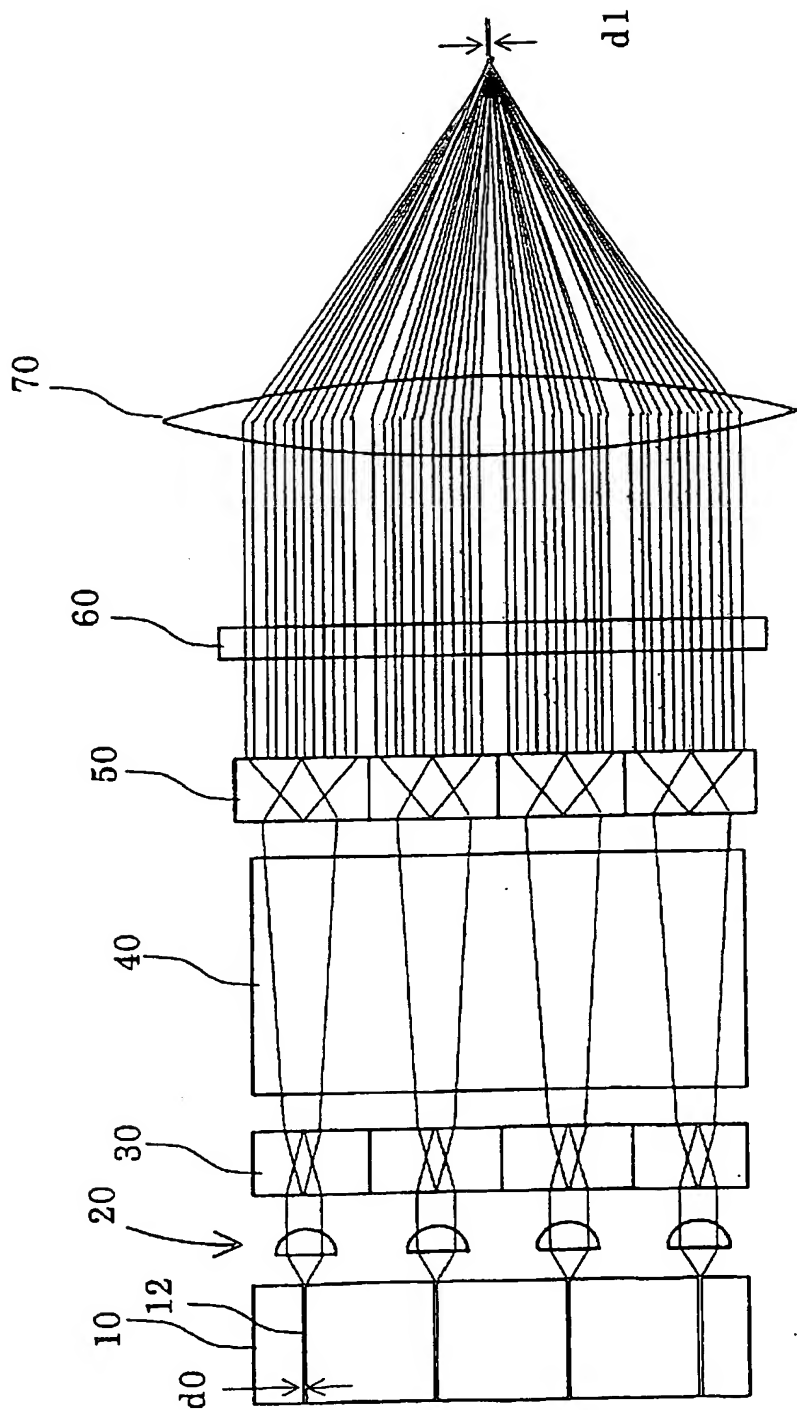


Fig.4

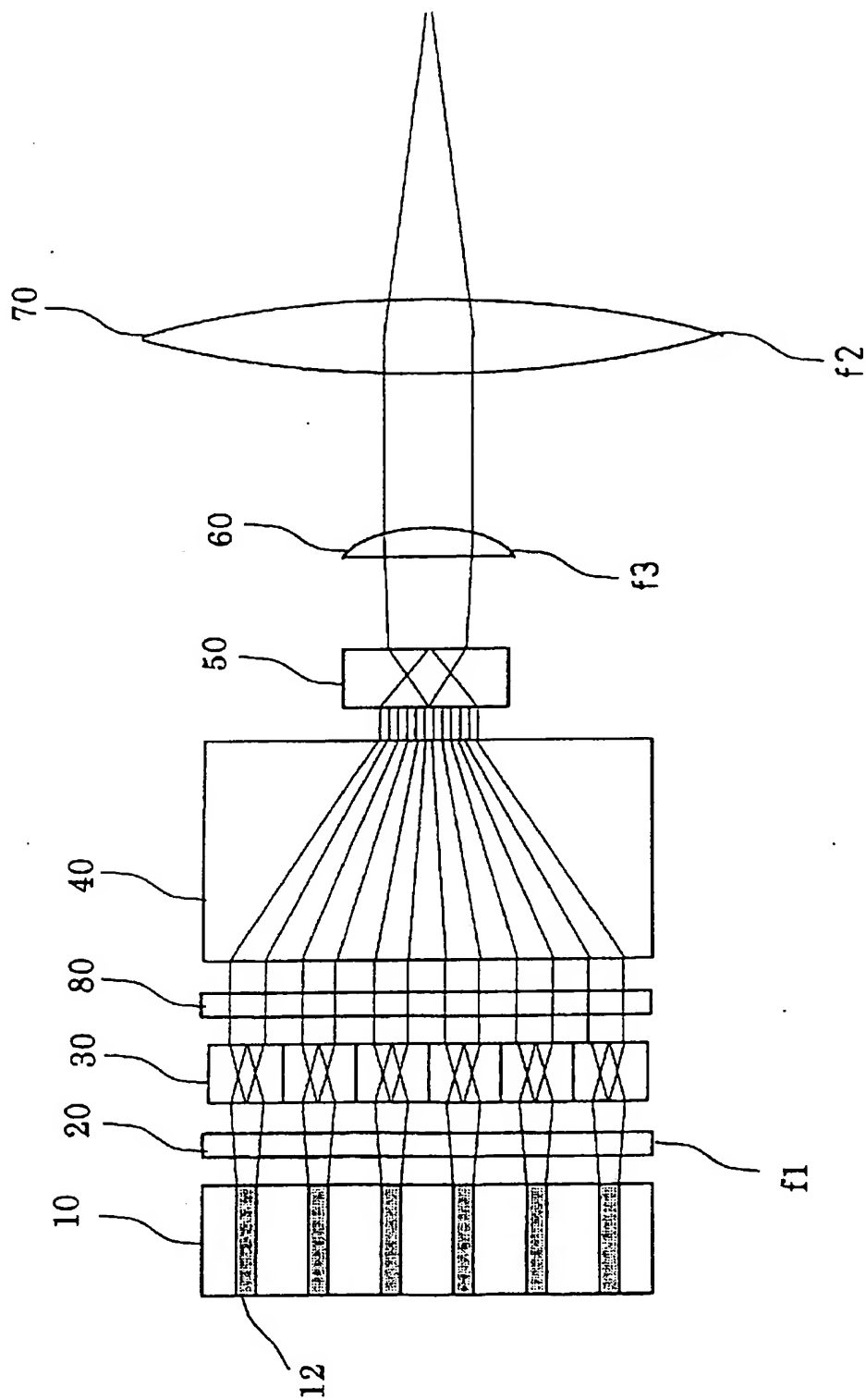


Fig. 5

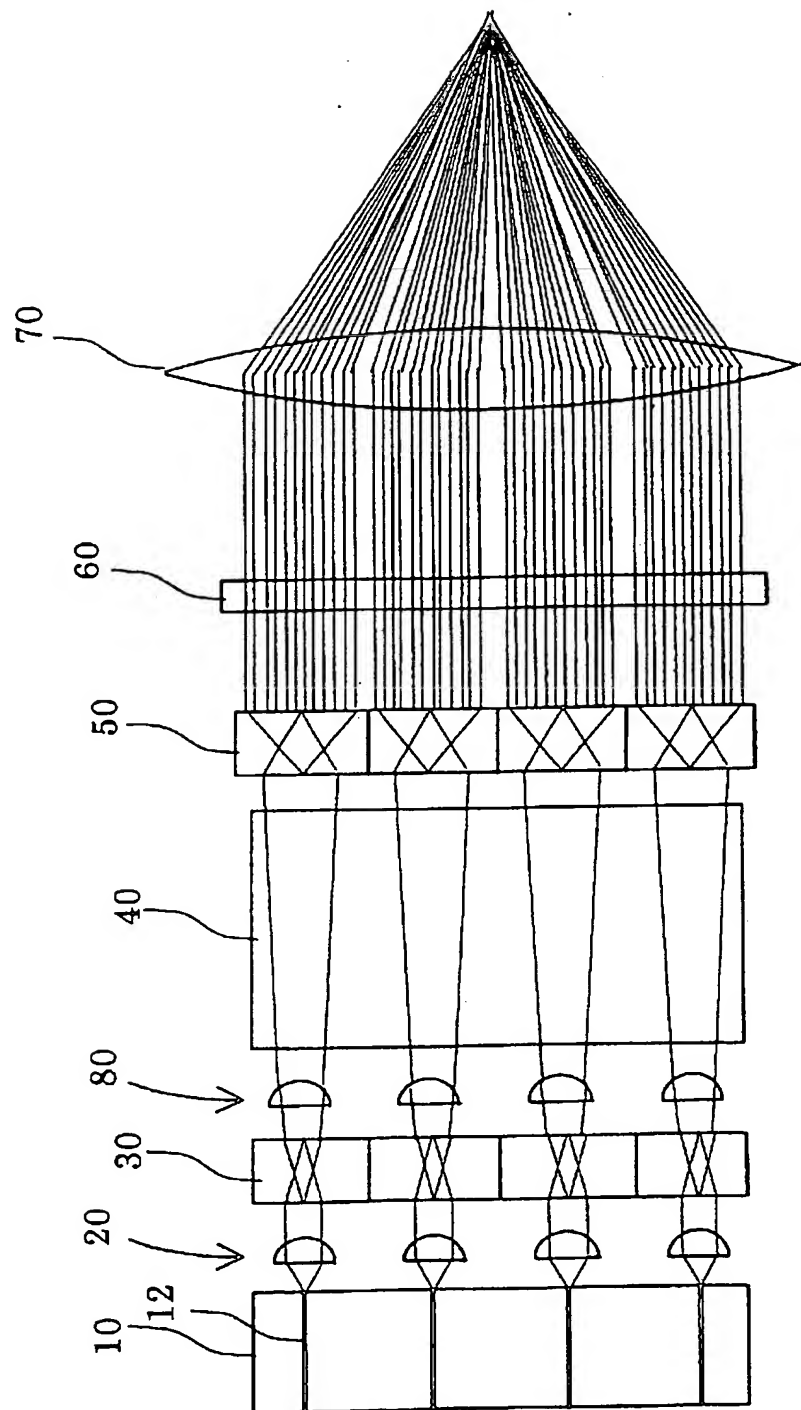


Fig. 6

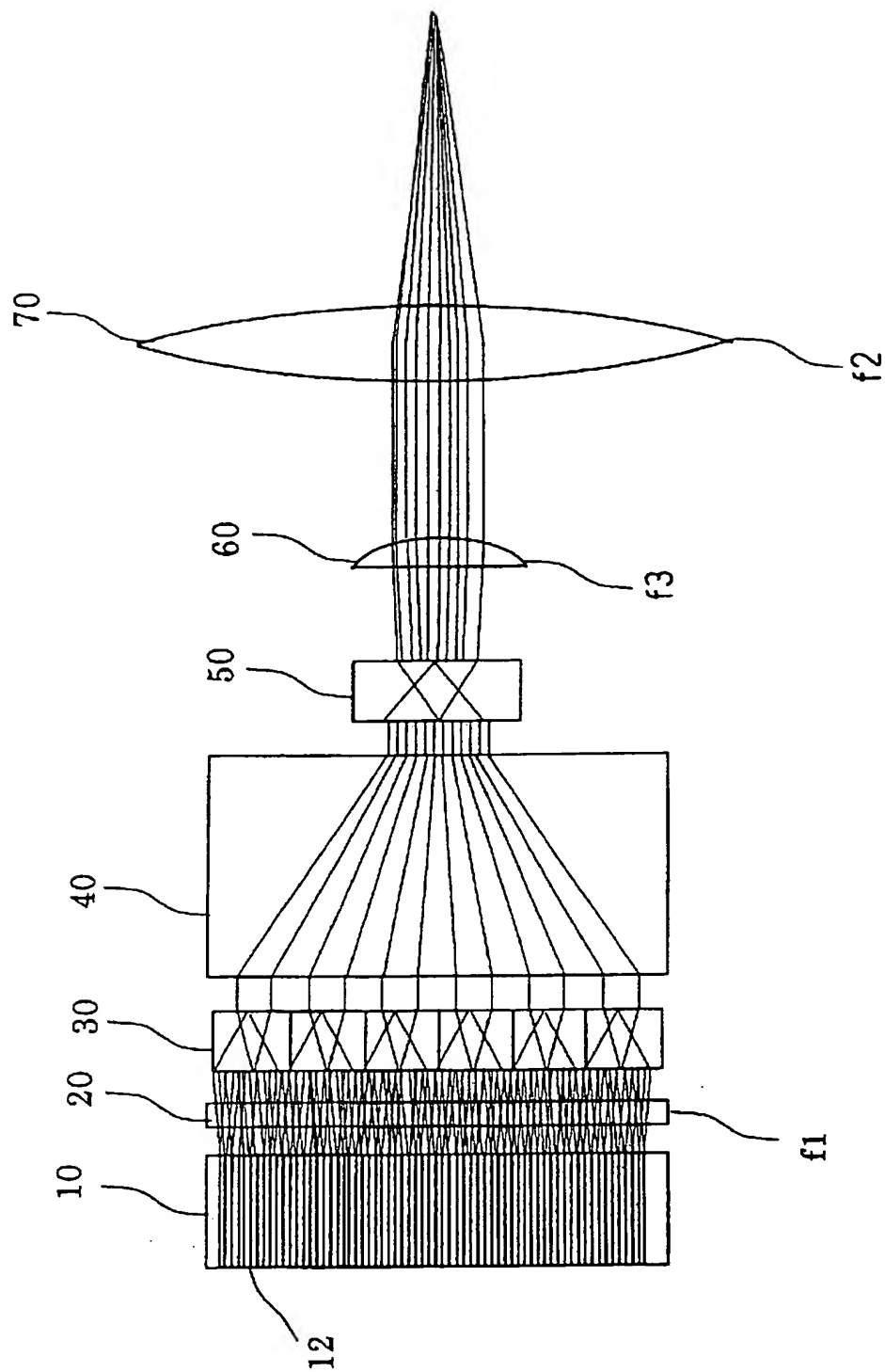


Fig.7

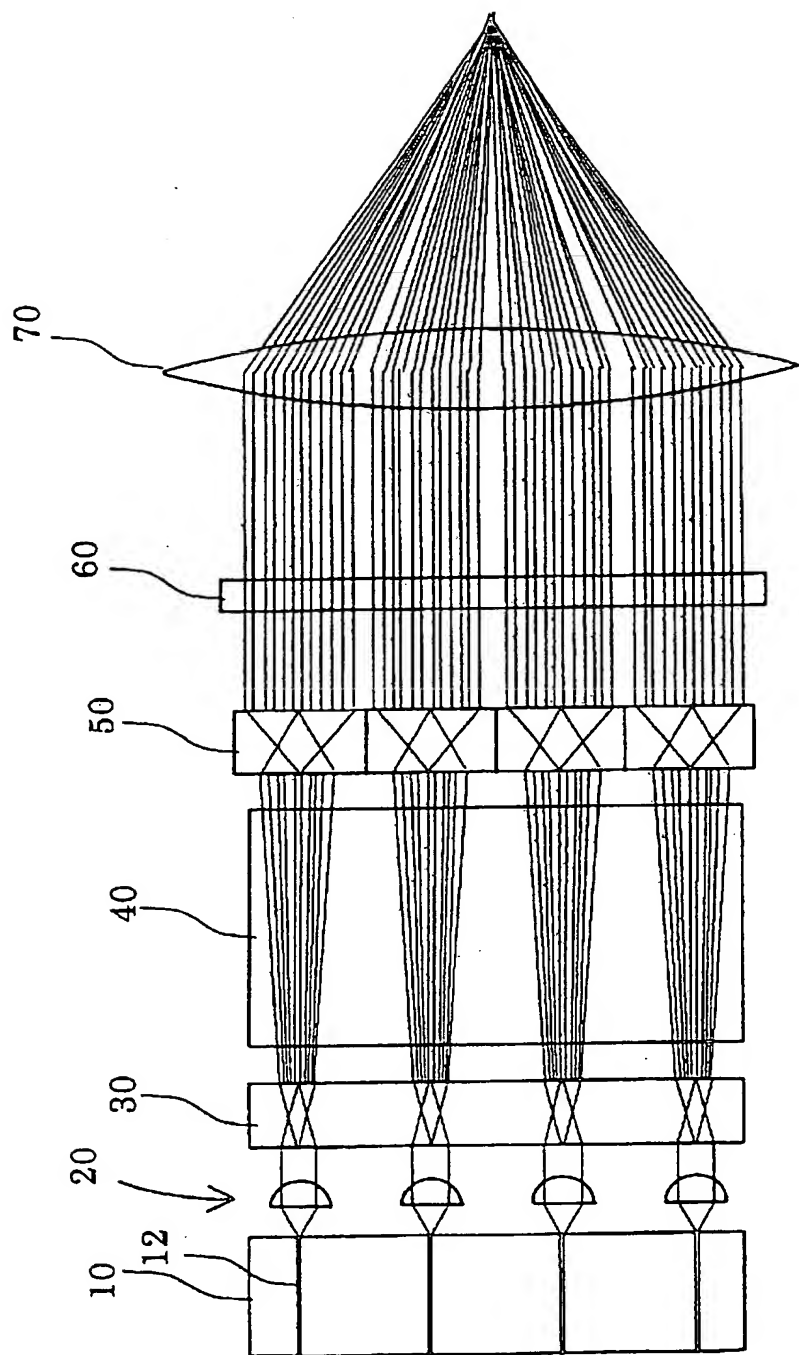


Fig. 8

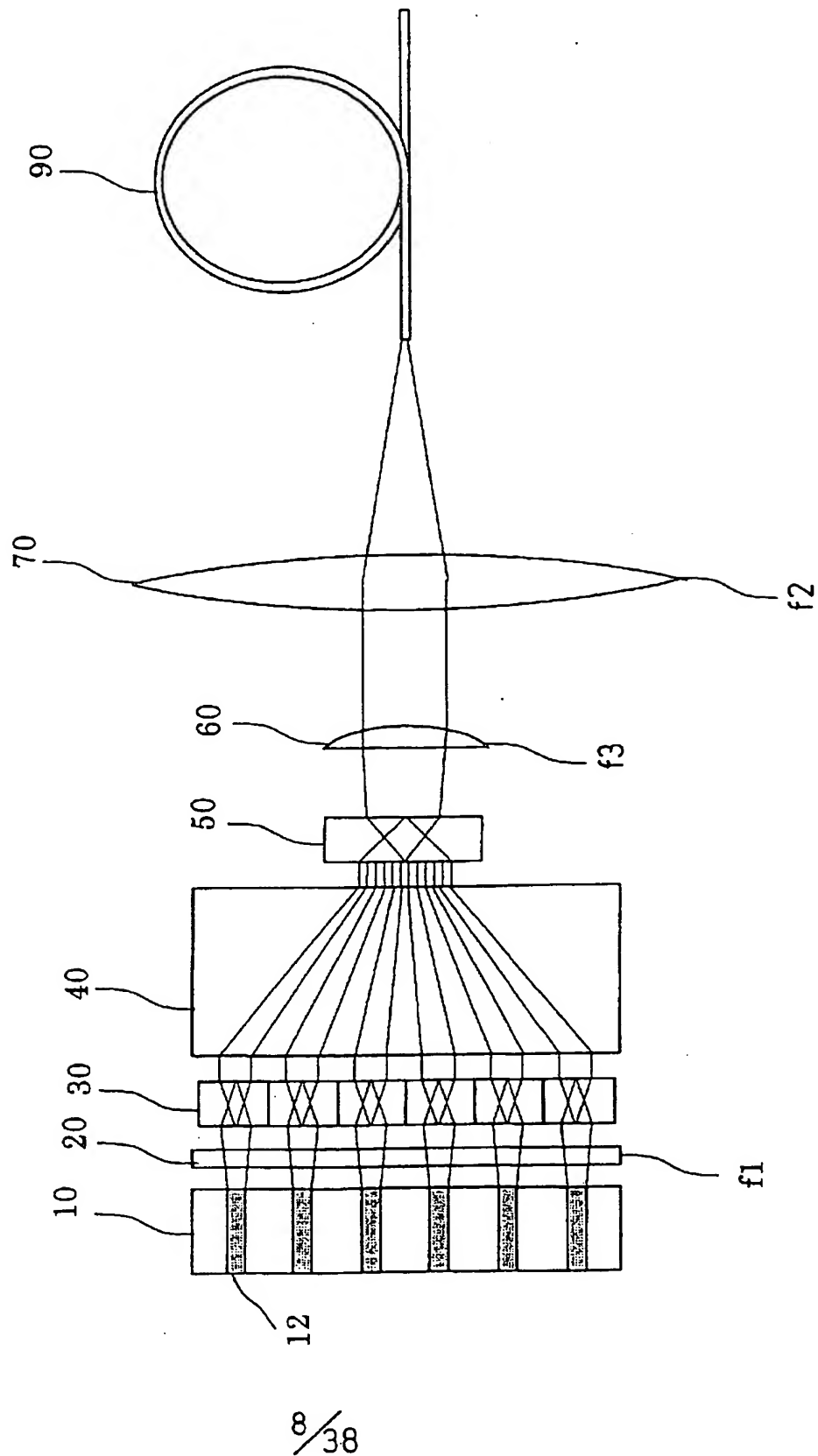
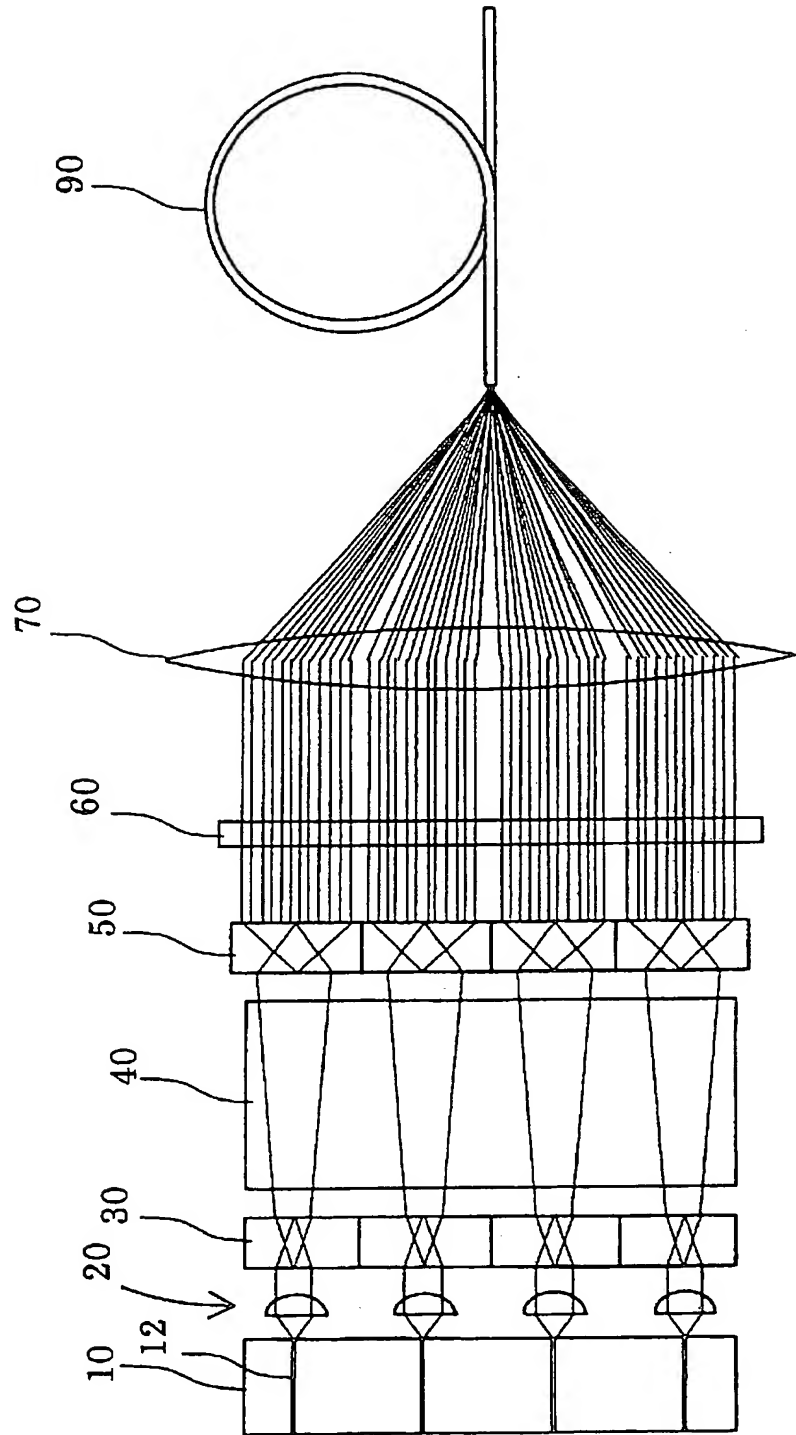


Fig.9



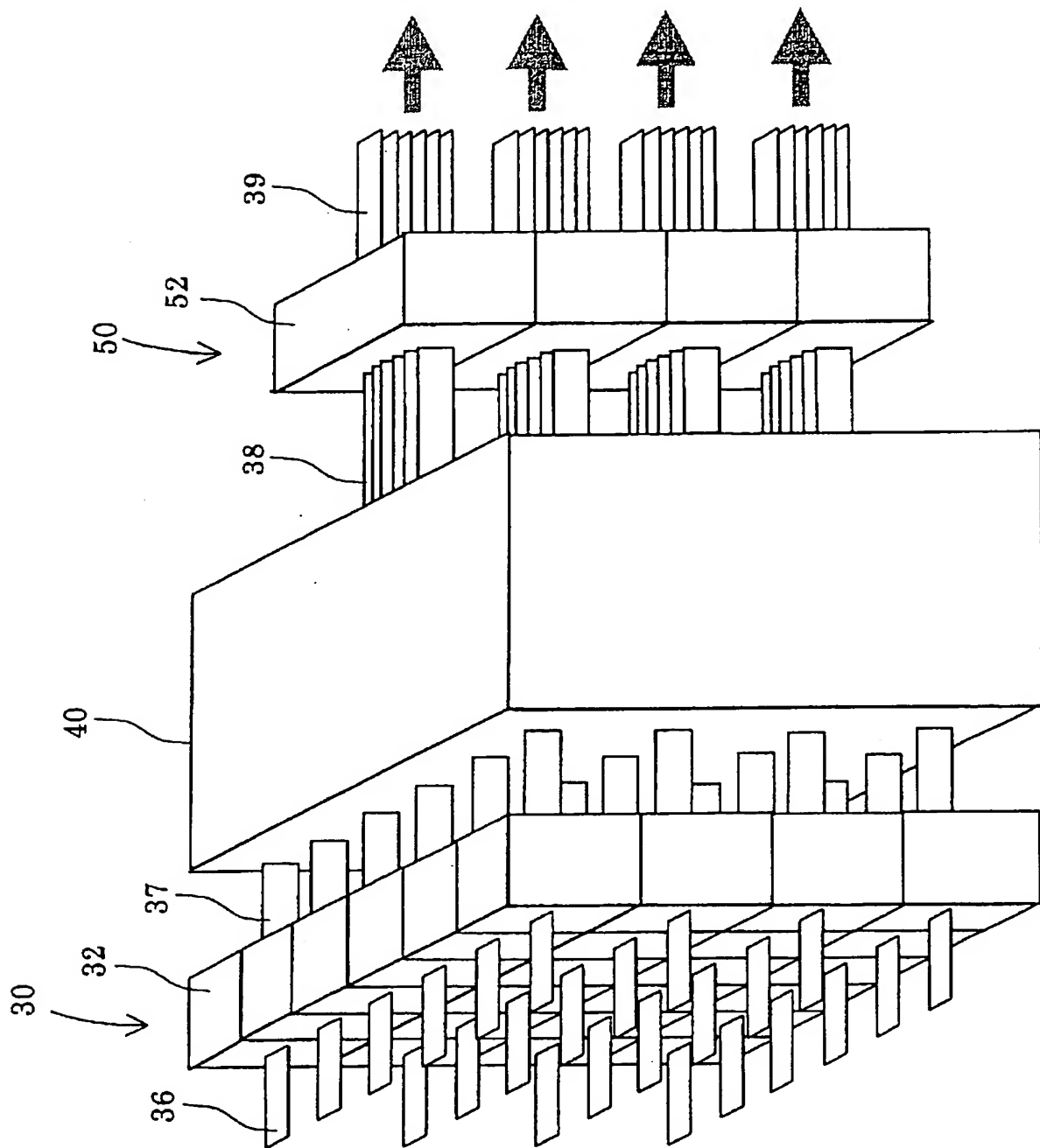


Fig.10

Fig.11

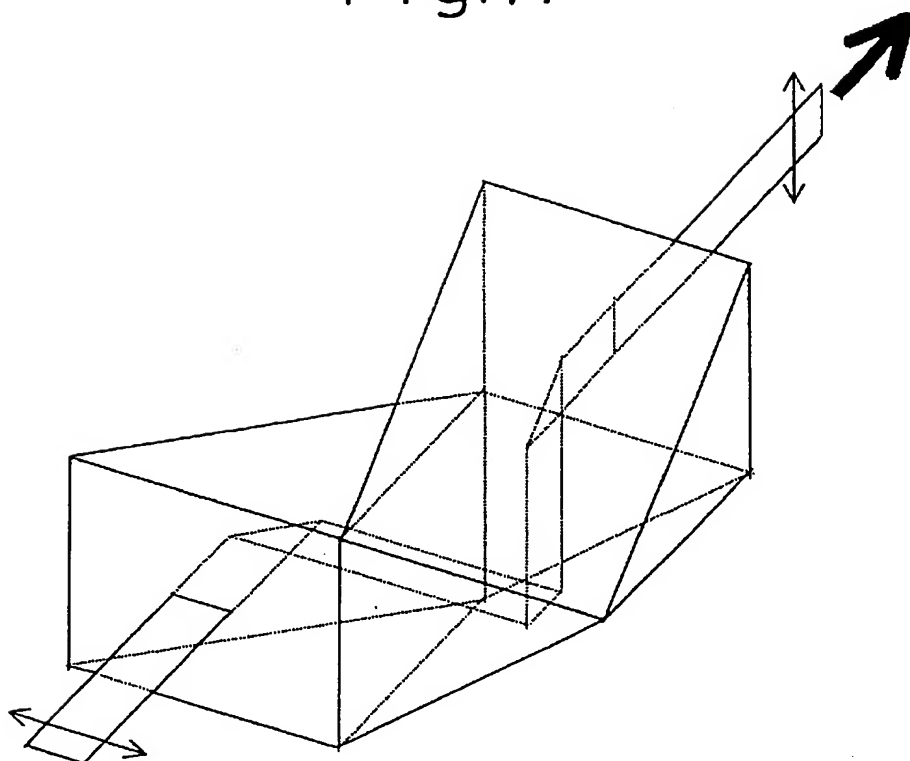


Fig.12

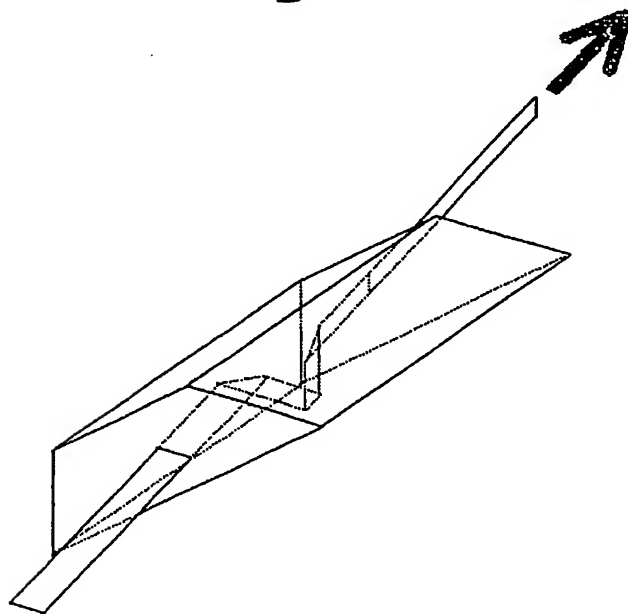


Fig.13

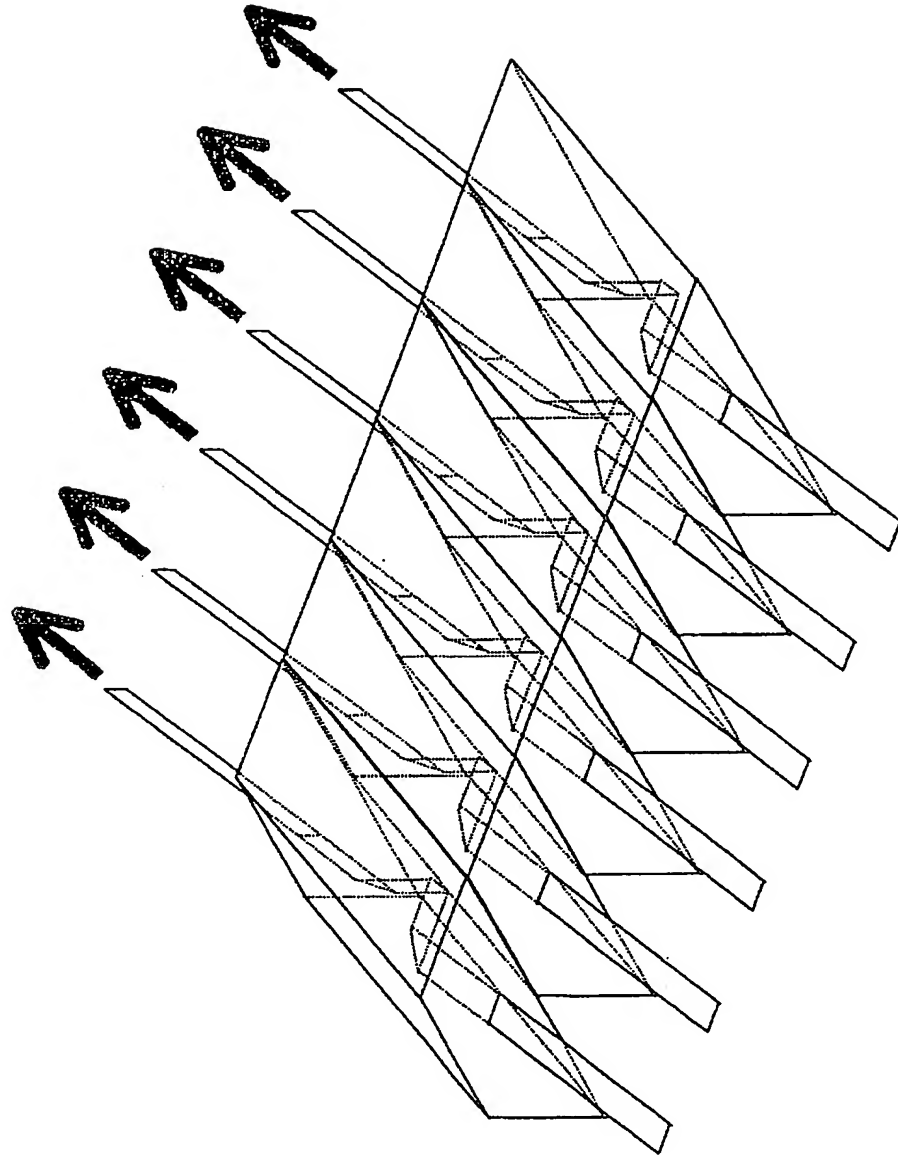


Fig.14

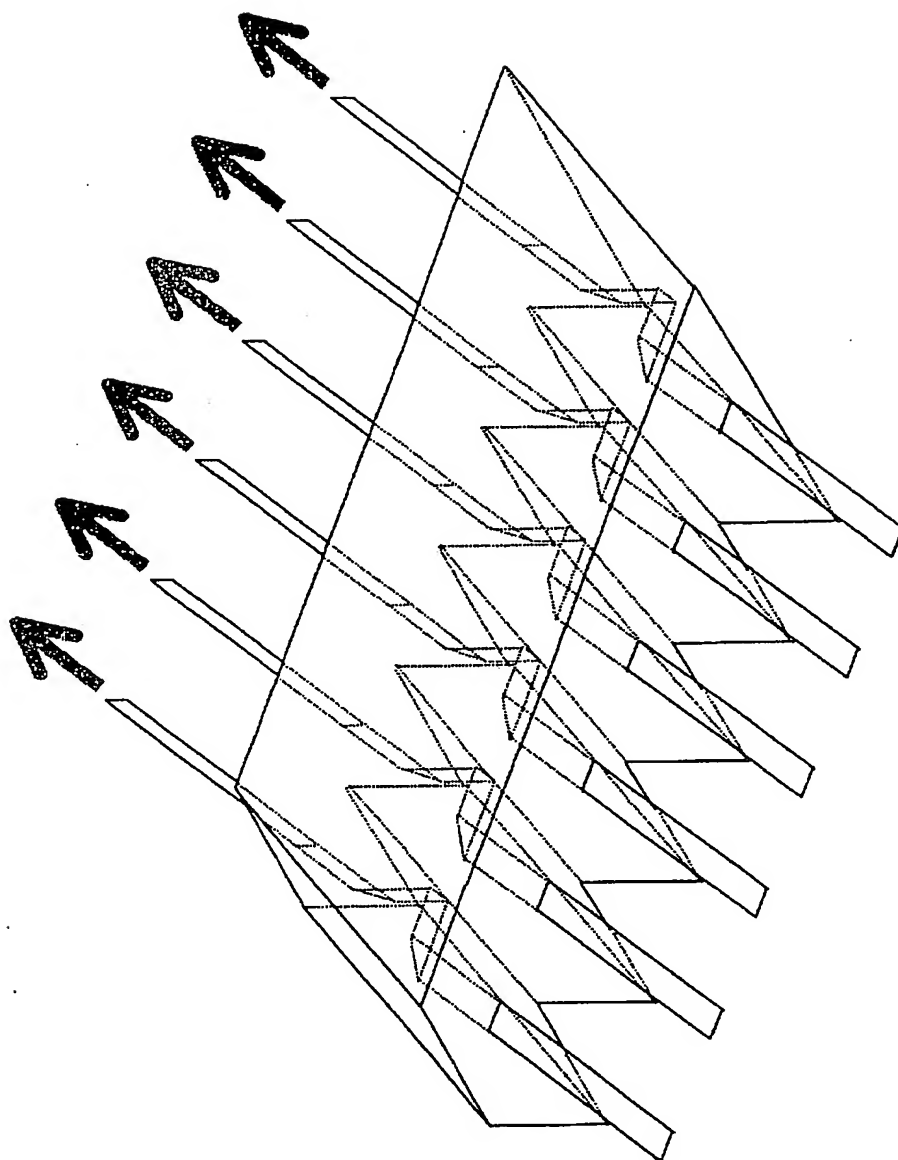


Fig.15

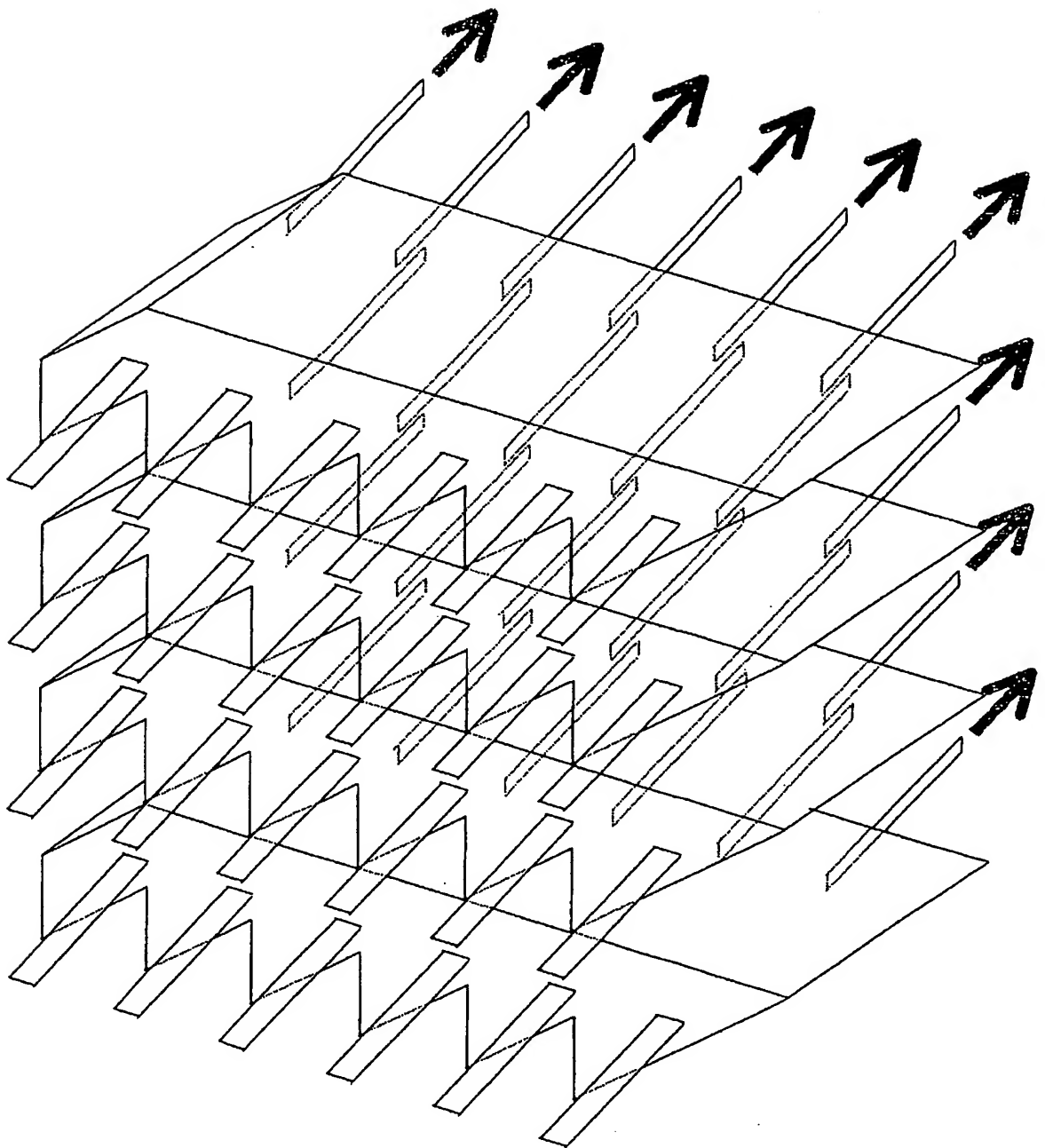


Fig.16

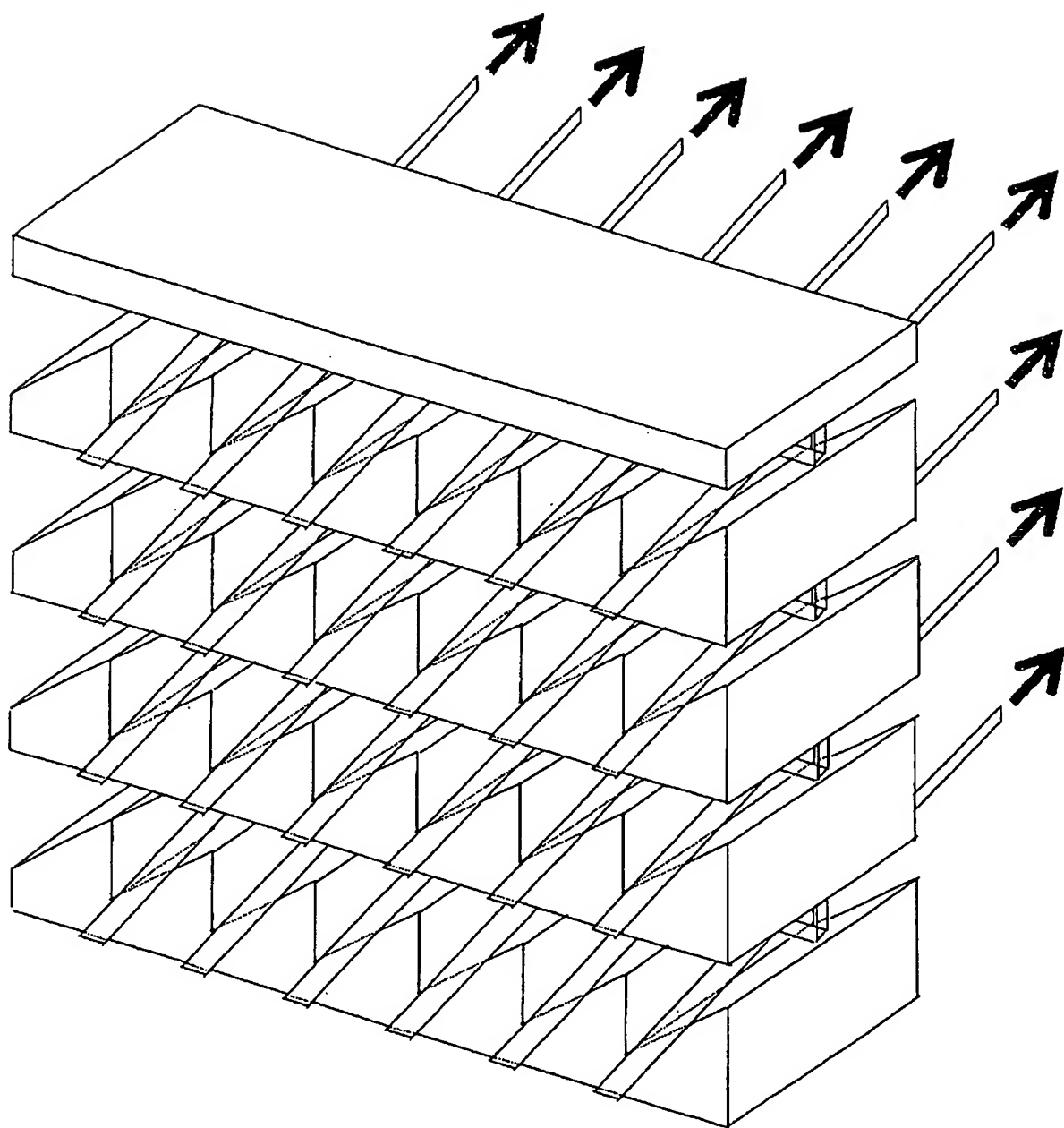


Fig.17

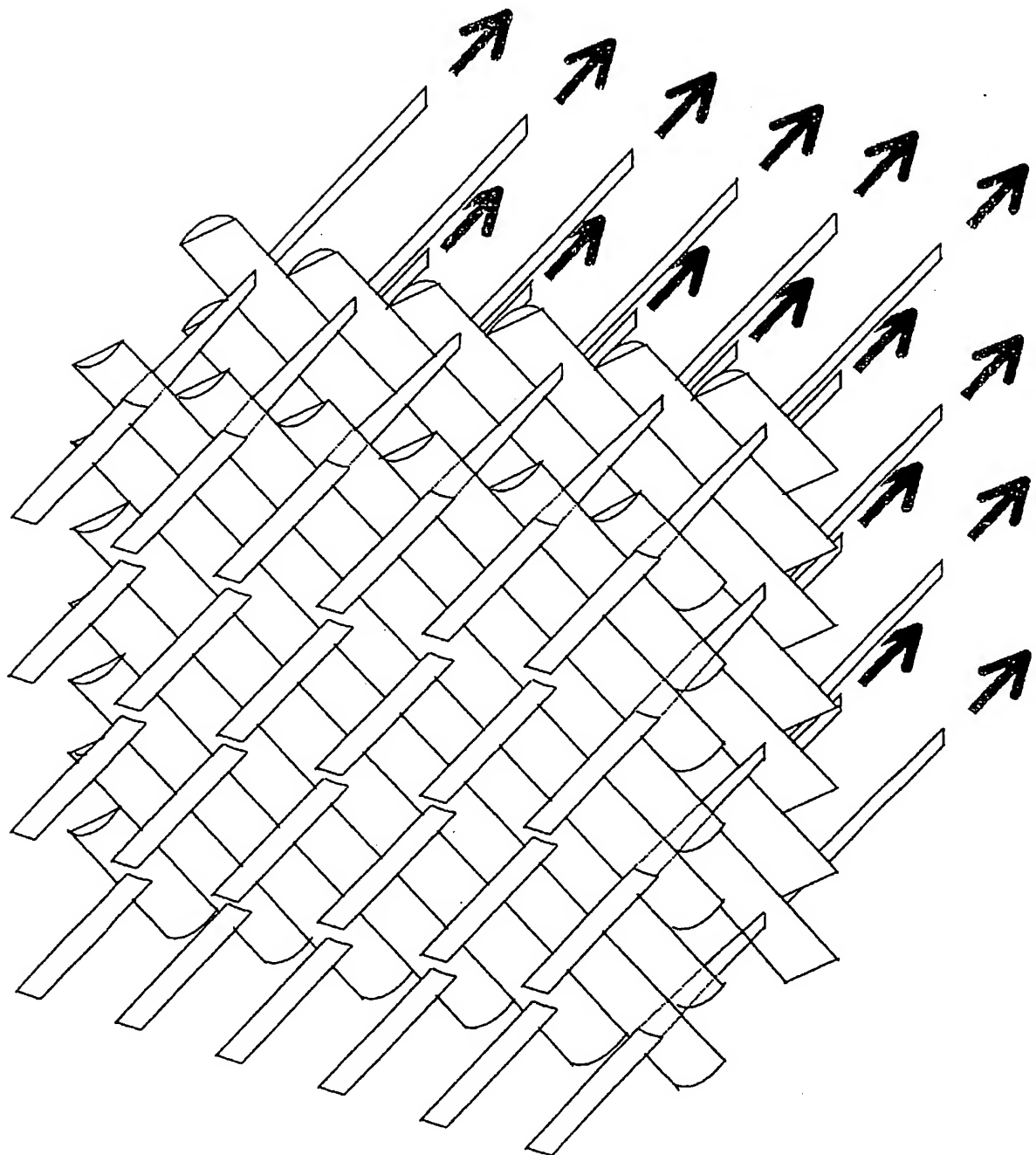


Fig.18

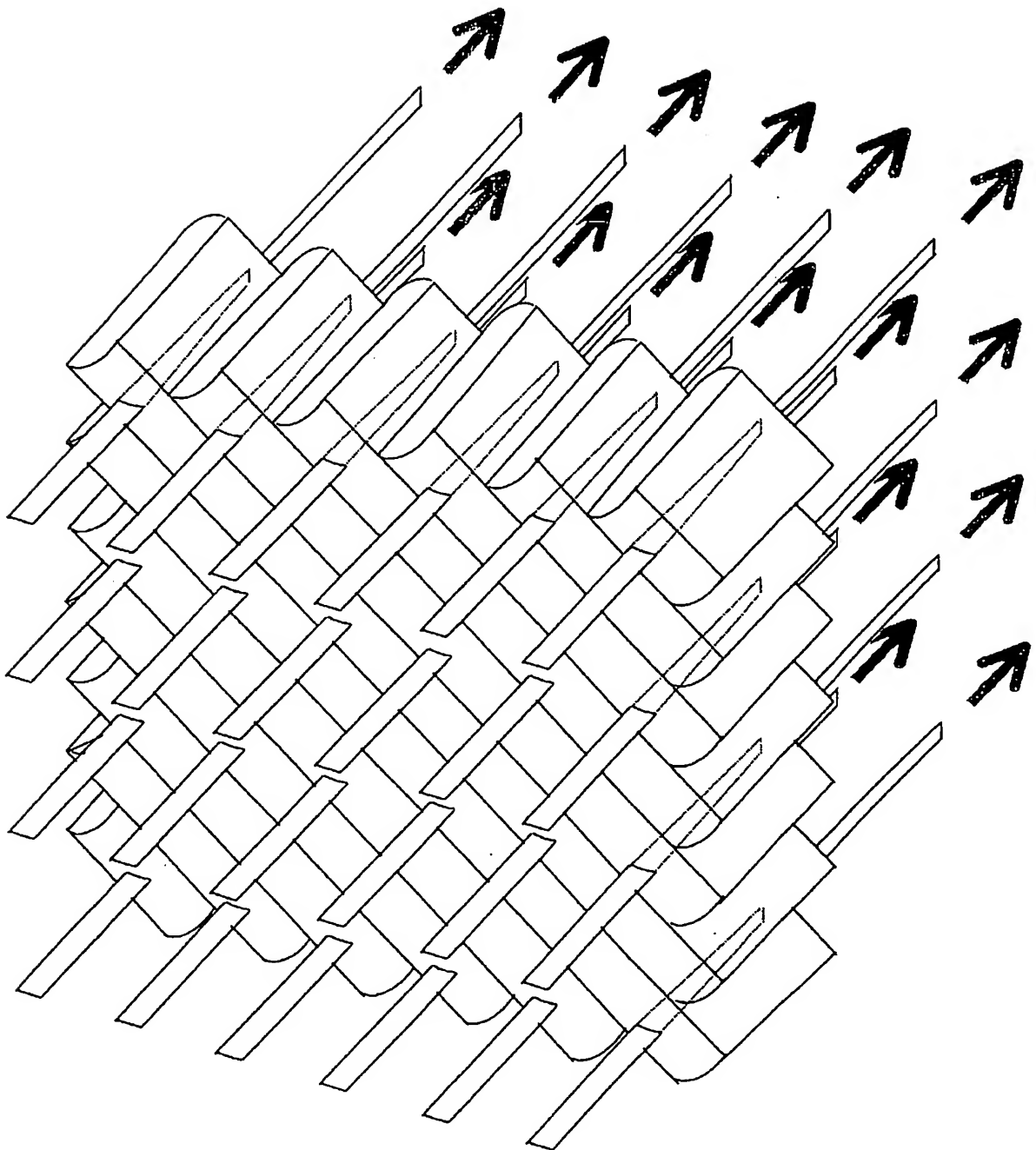


Fig.19

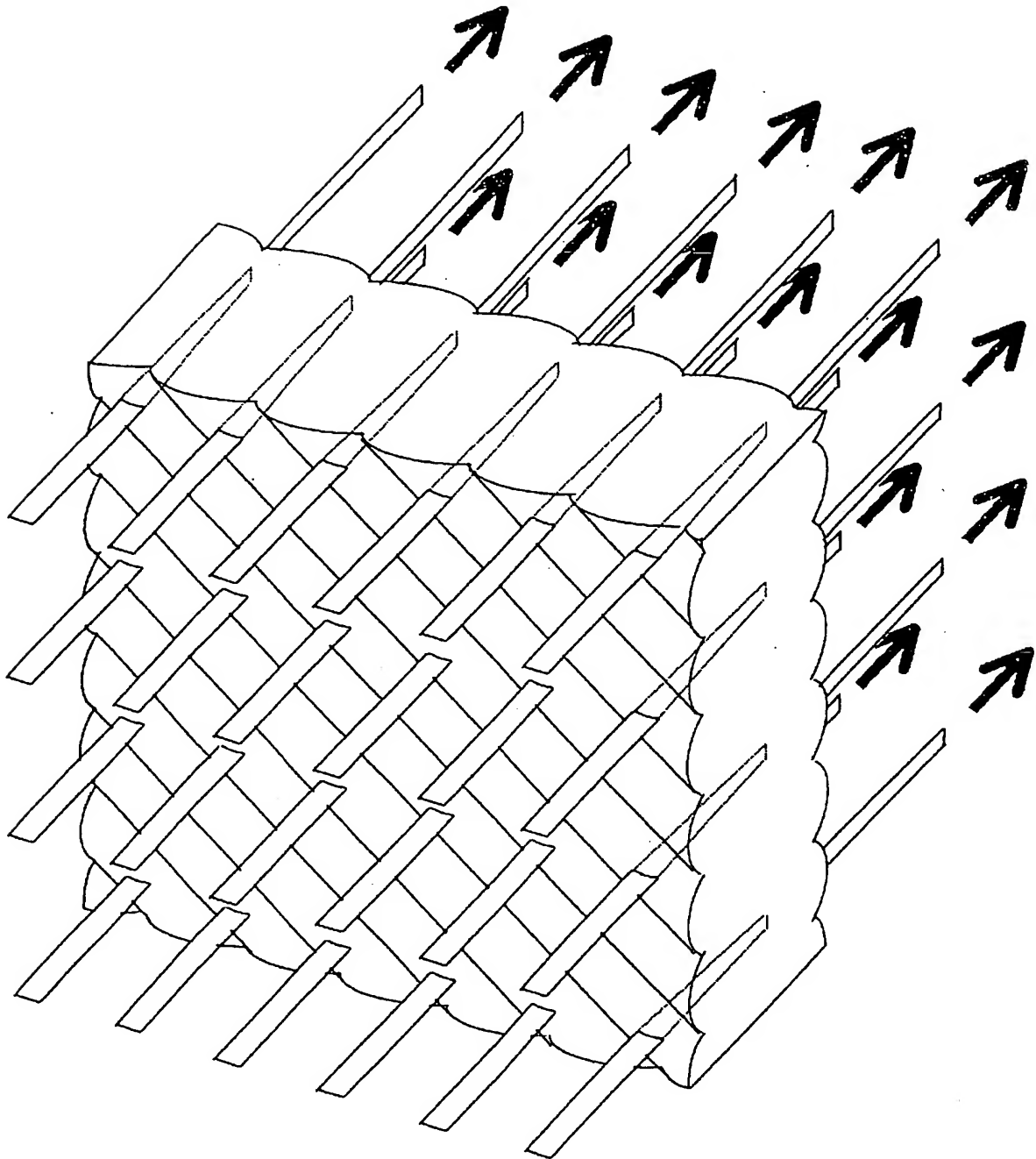


Fig. 20

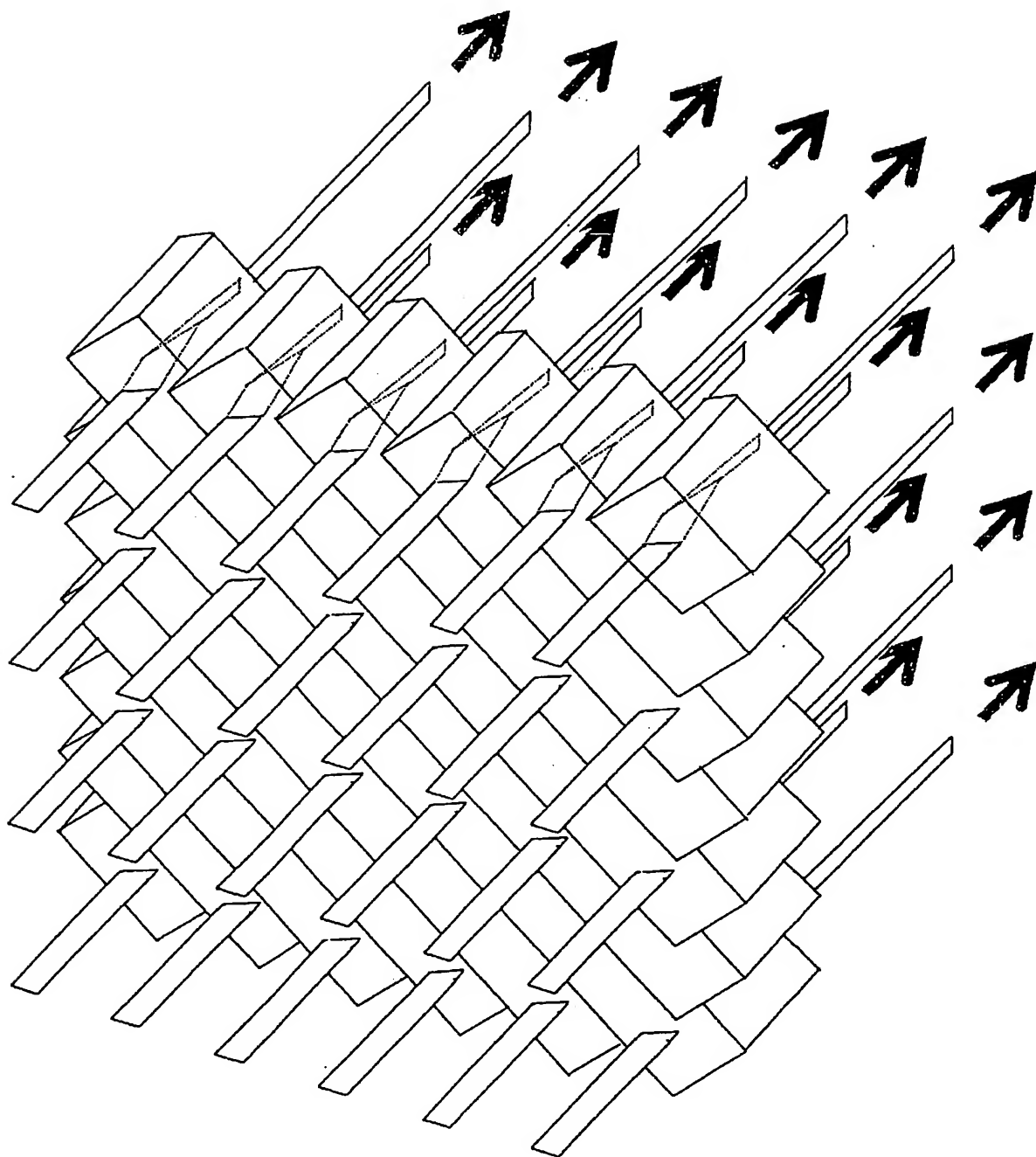


Fig.21

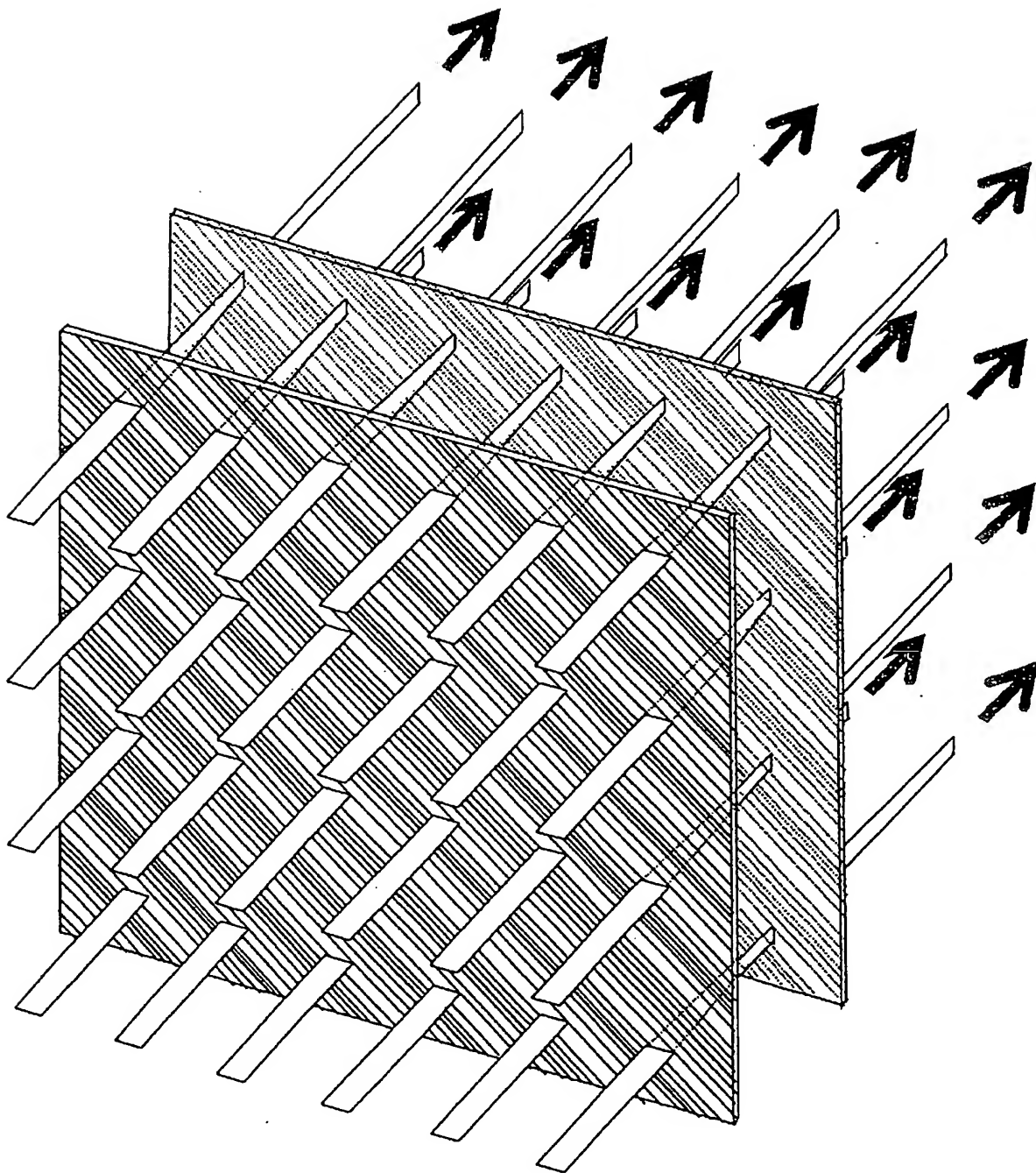


Fig.22

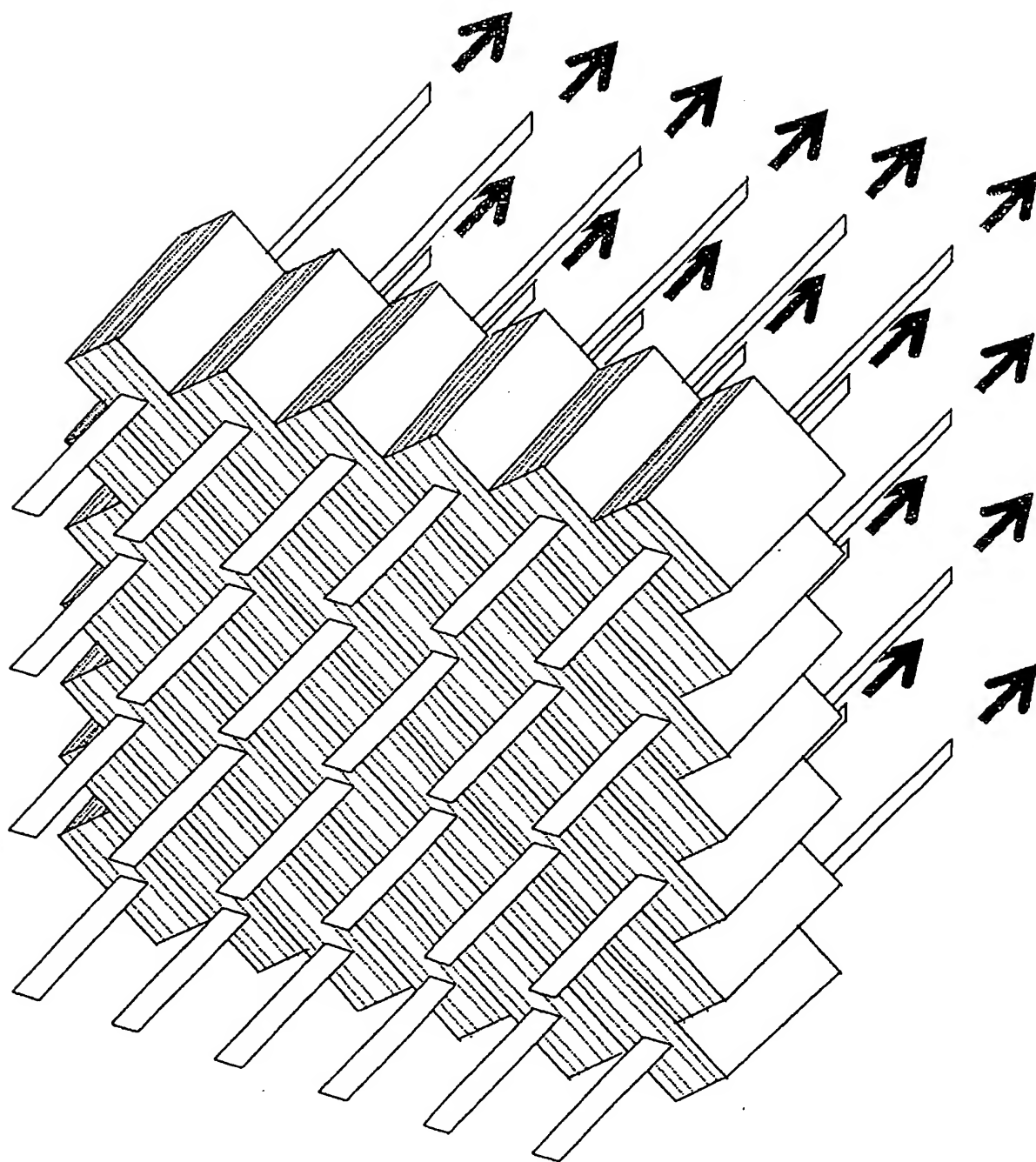


Fig.23

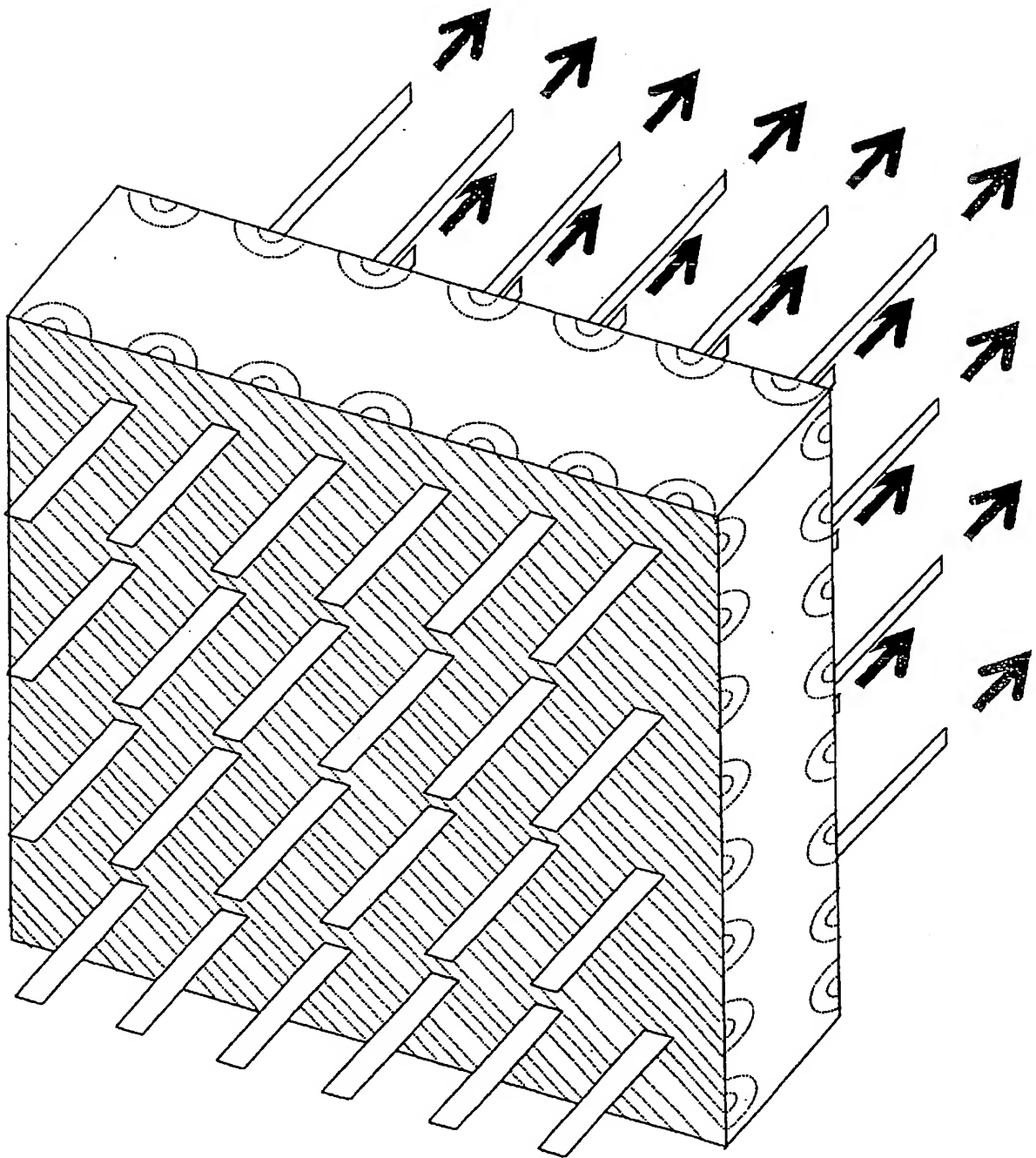


Fig.24

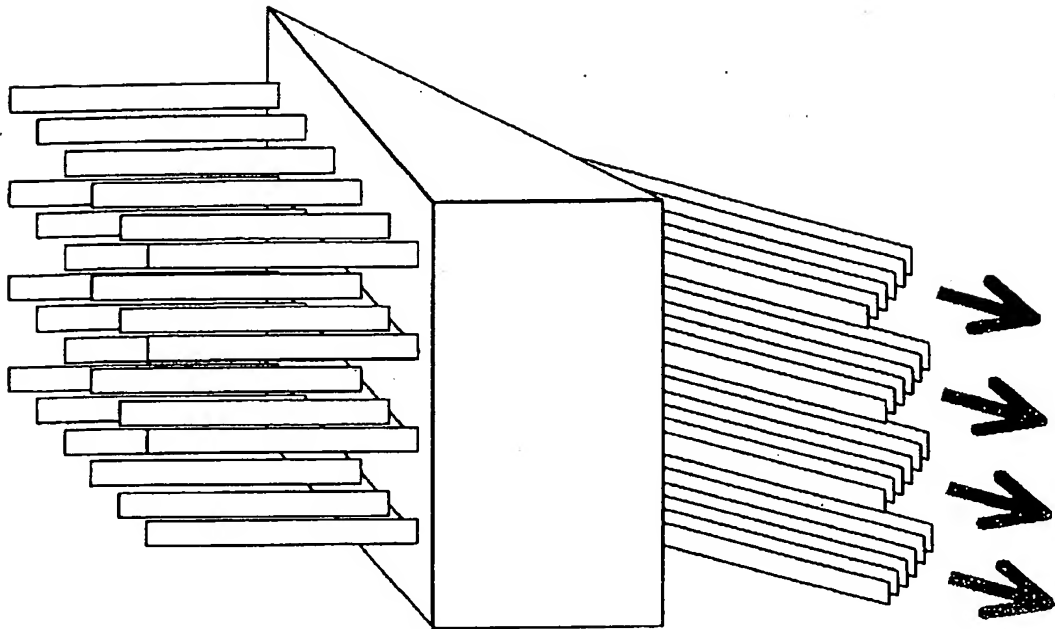


Fig.25

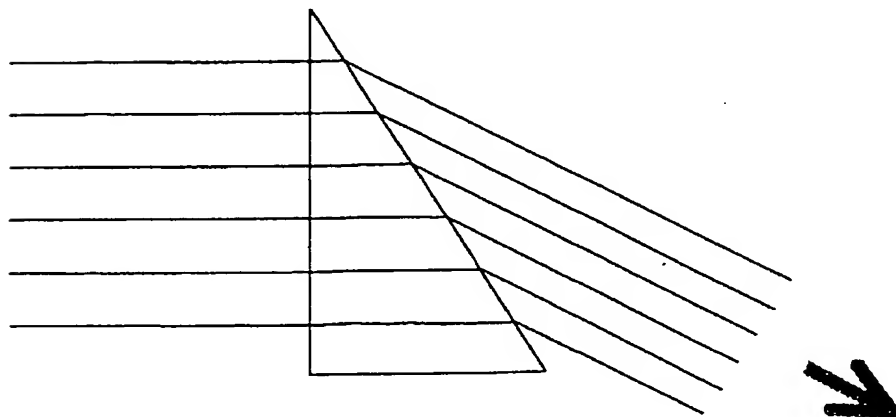


Fig. 26

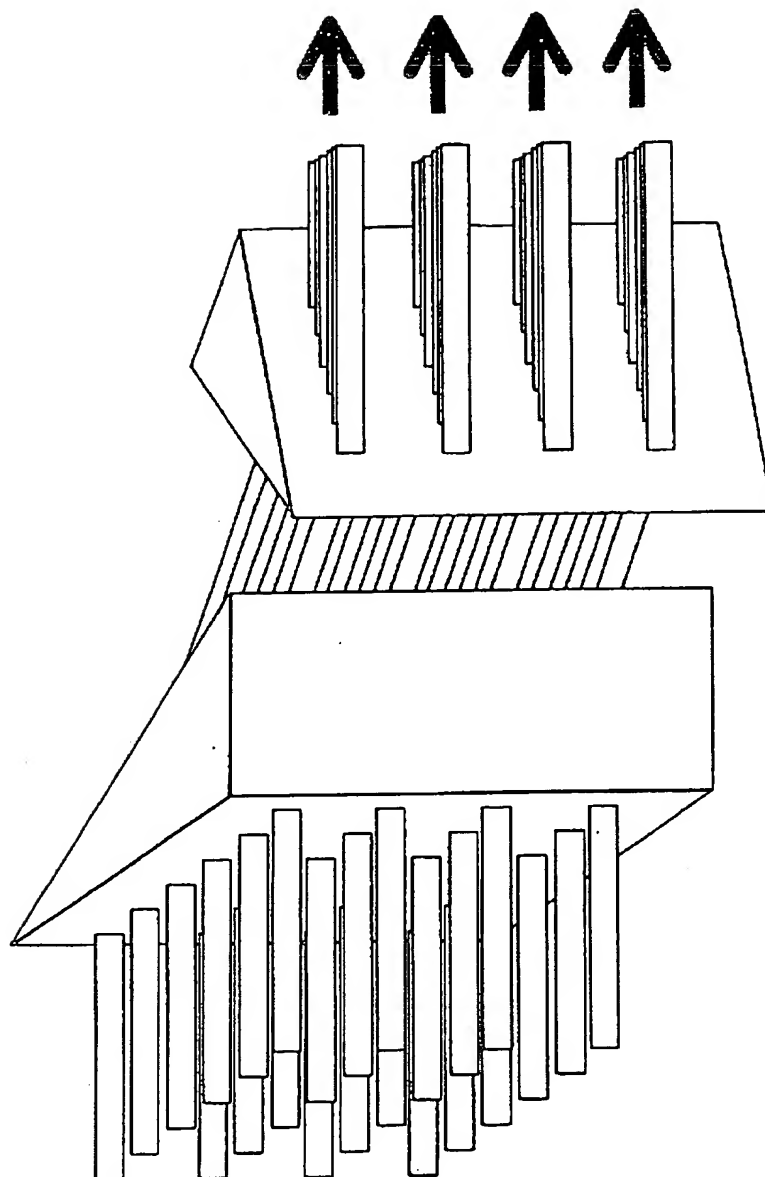


Fig.27

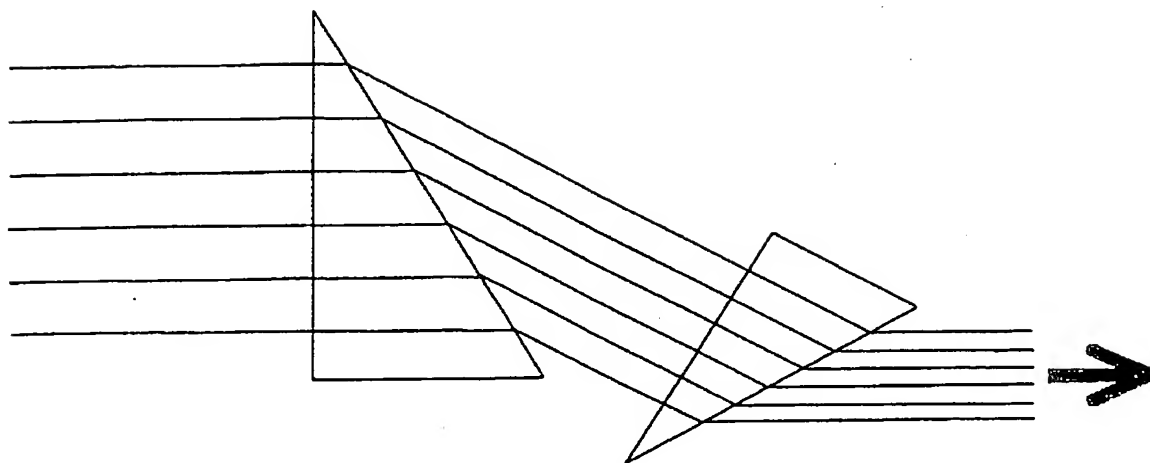


Fig.28

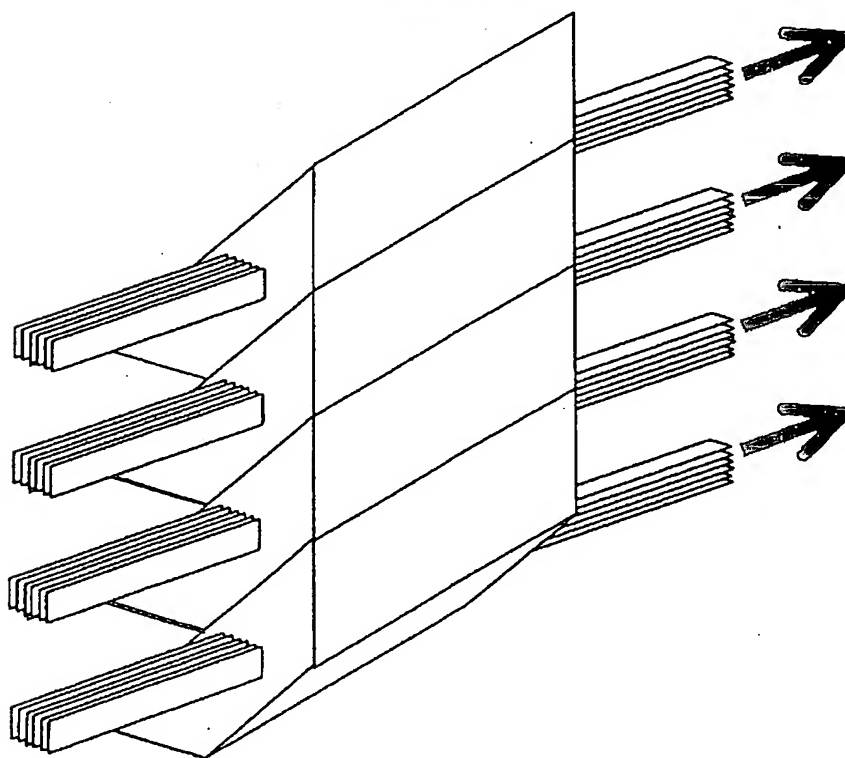


Fig.29

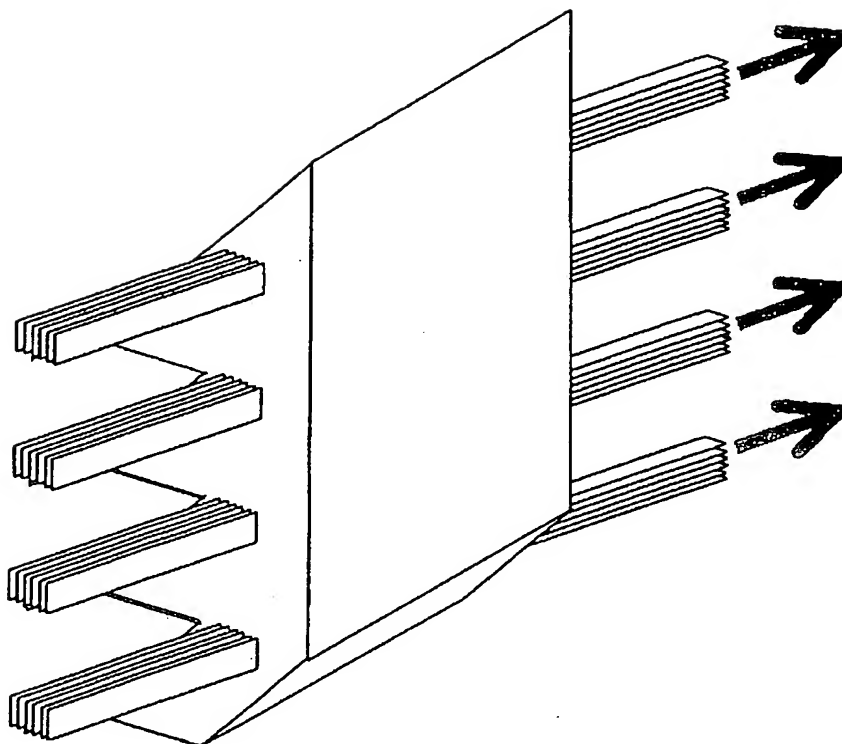


Fig.30

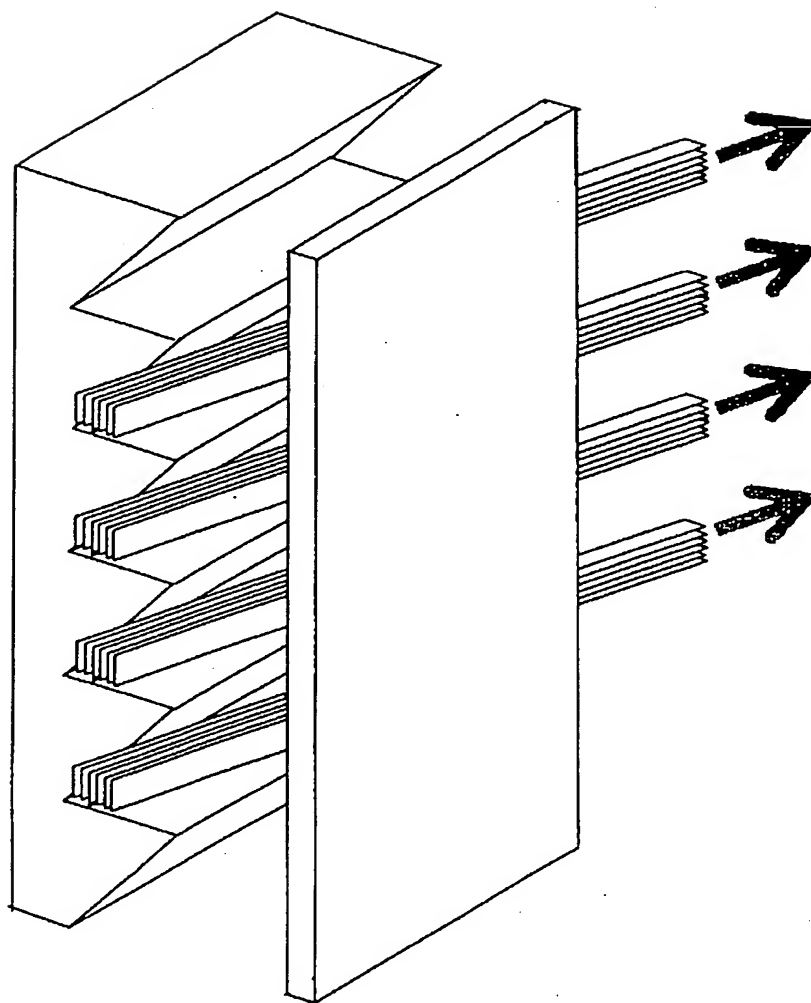


Fig.31

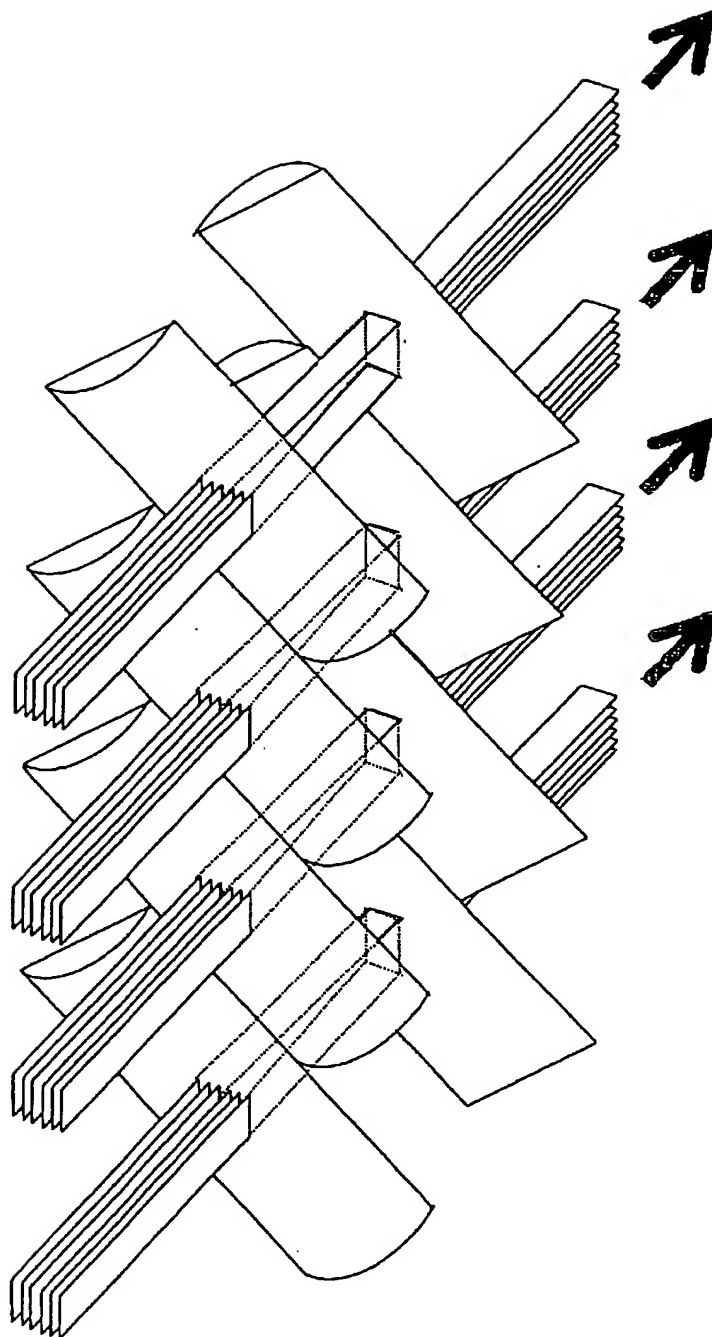


Fig.32

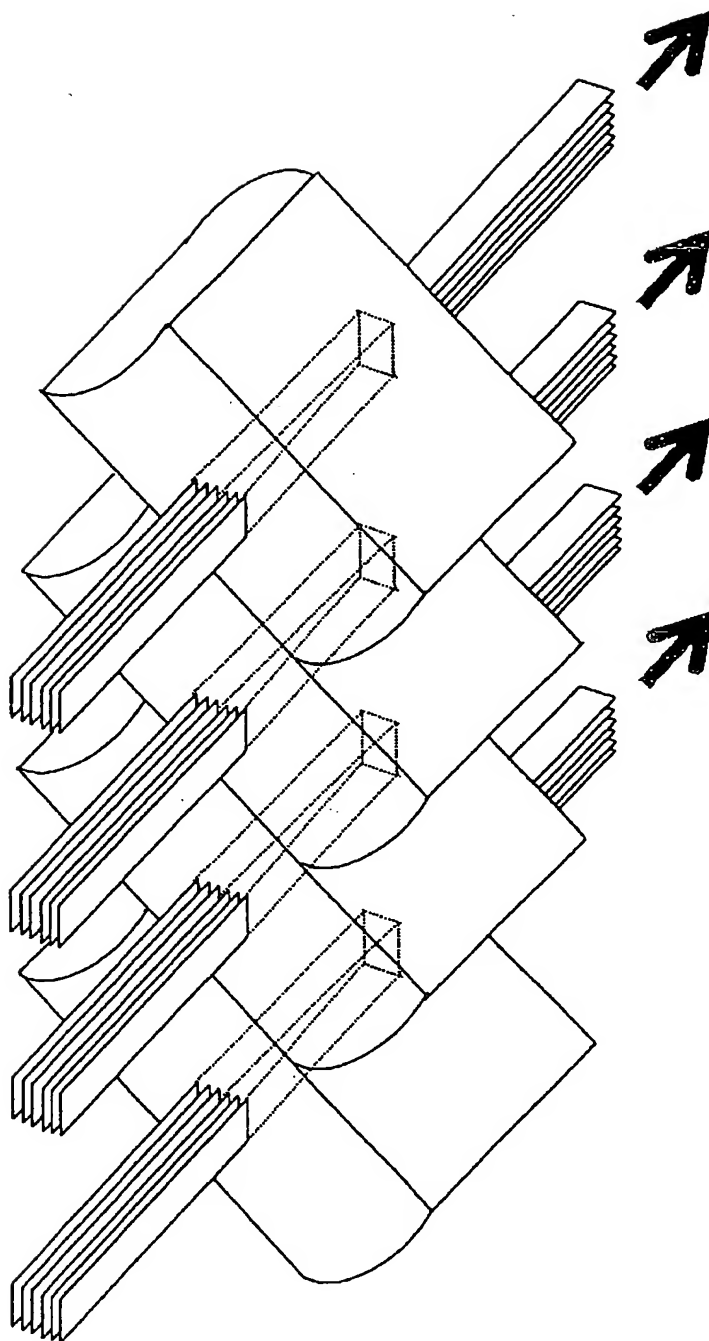


Fig. 33

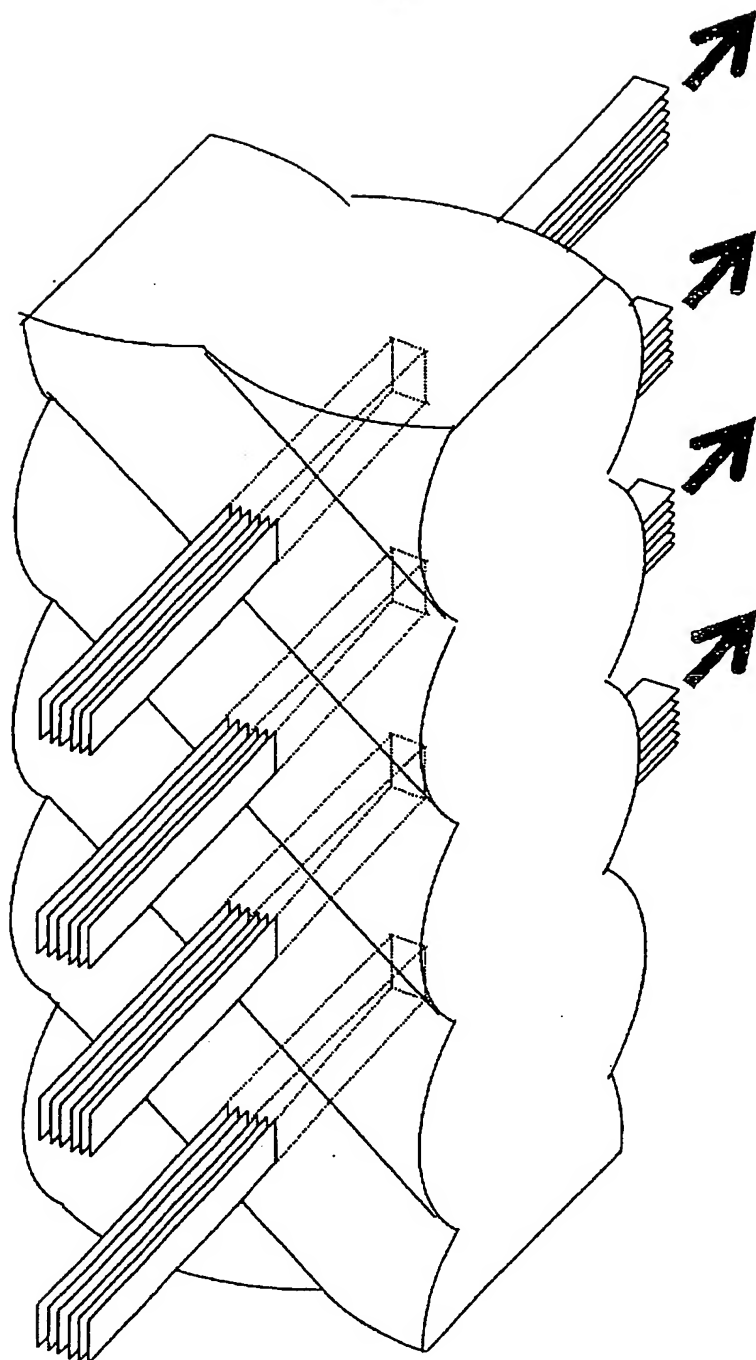


Fig. 34

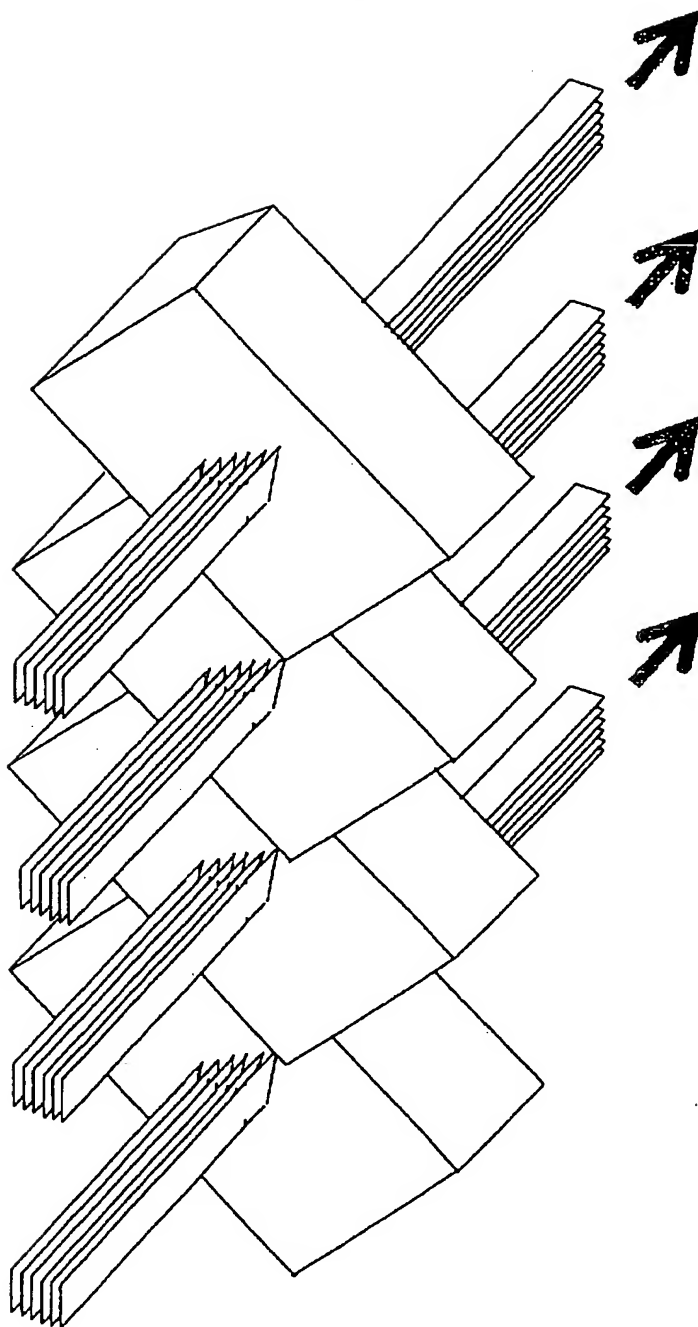


Fig. 35

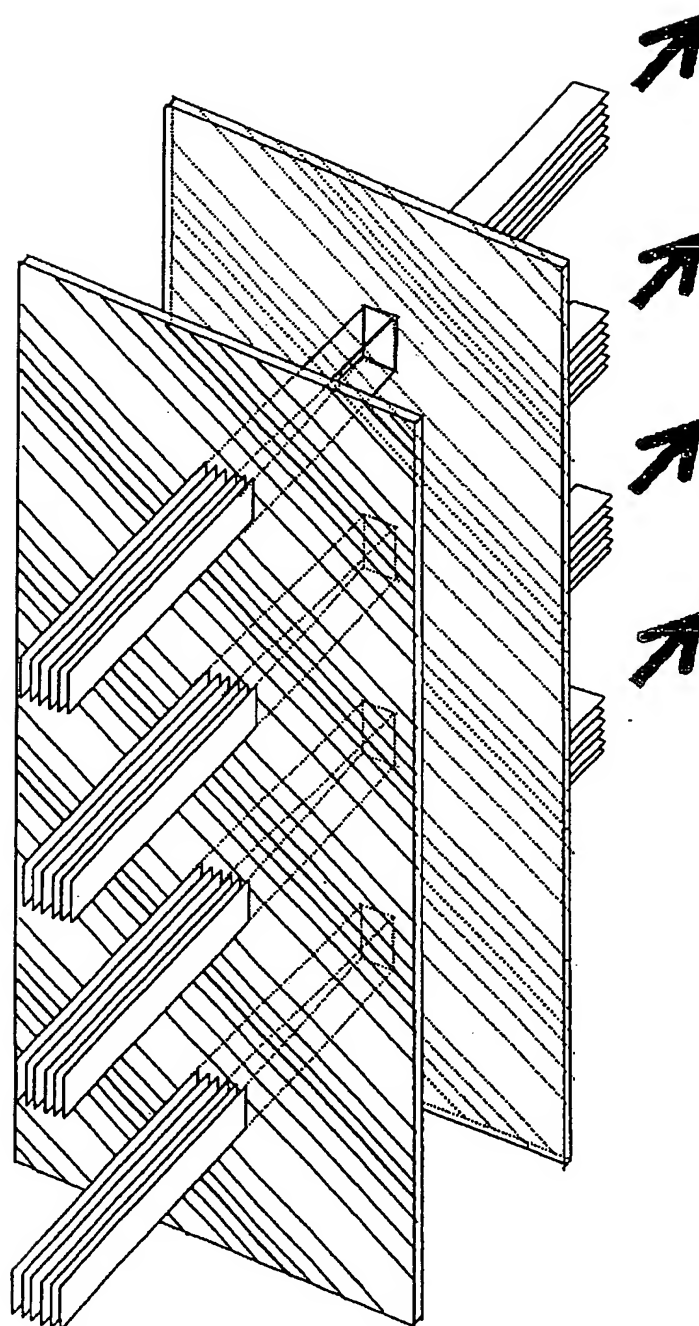


Fig.36

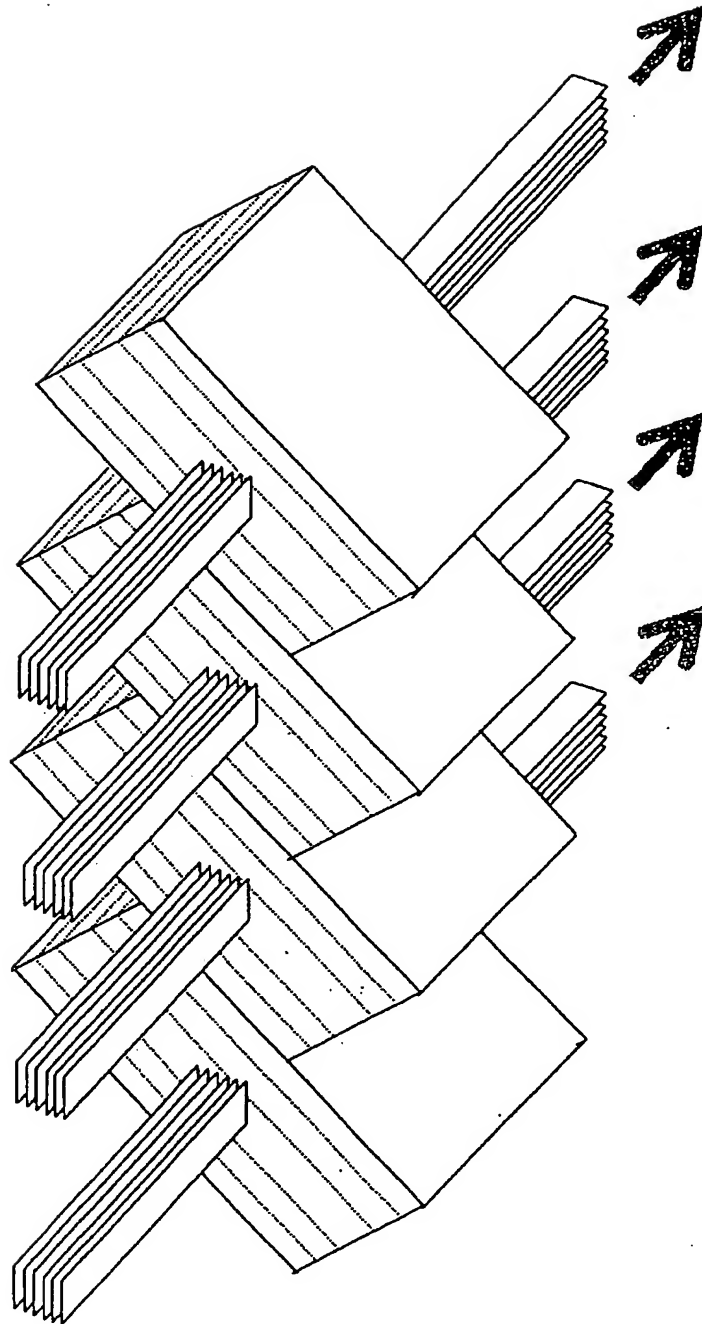


Fig. 37

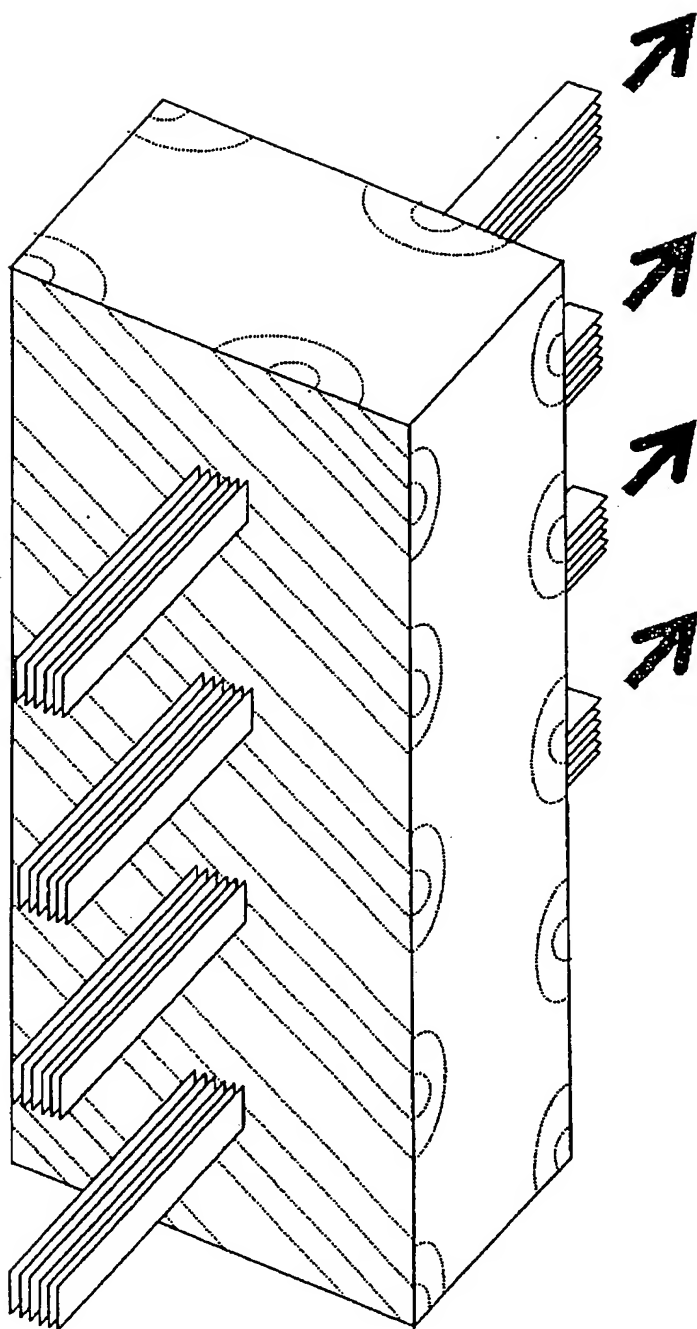


Fig. 38

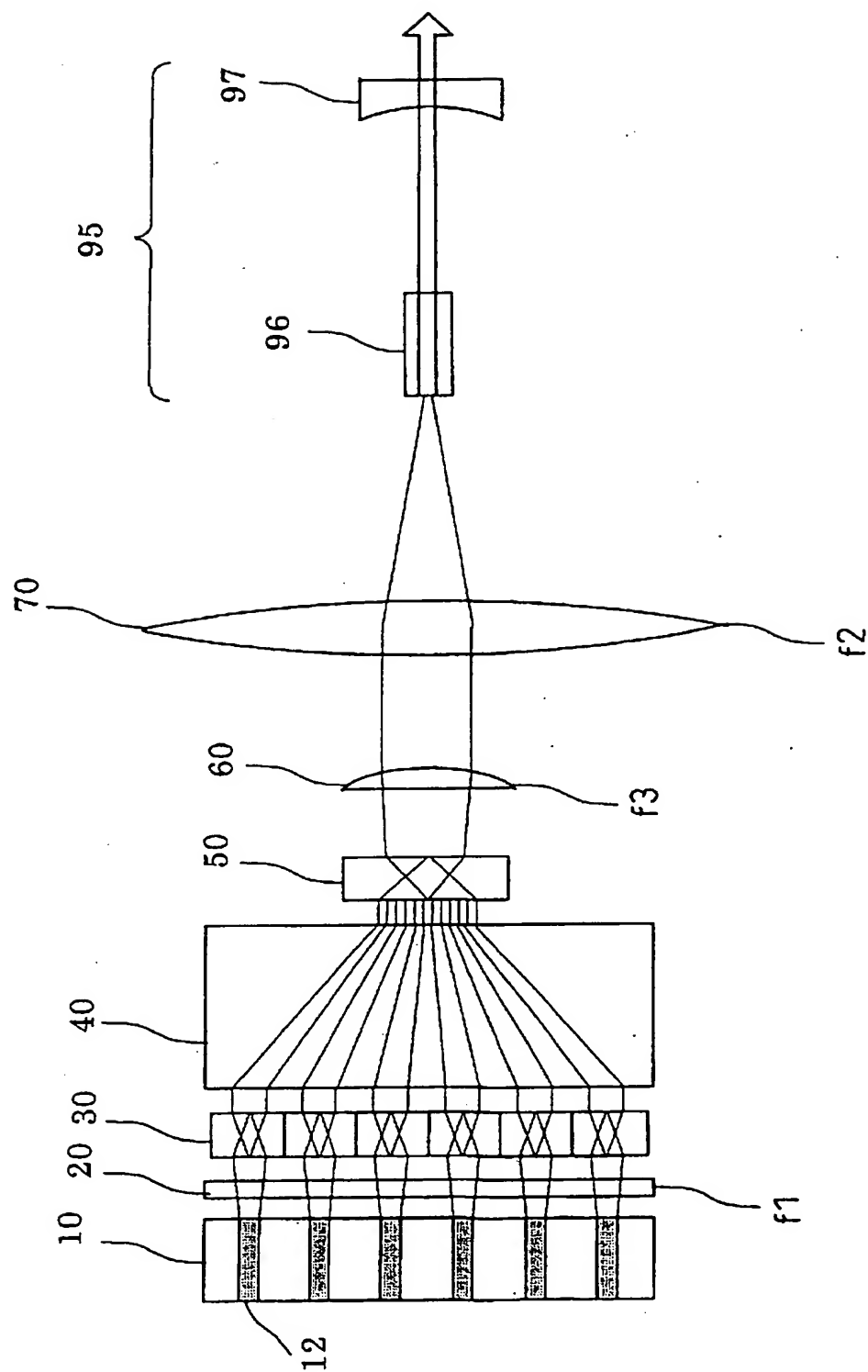


Fig. 39

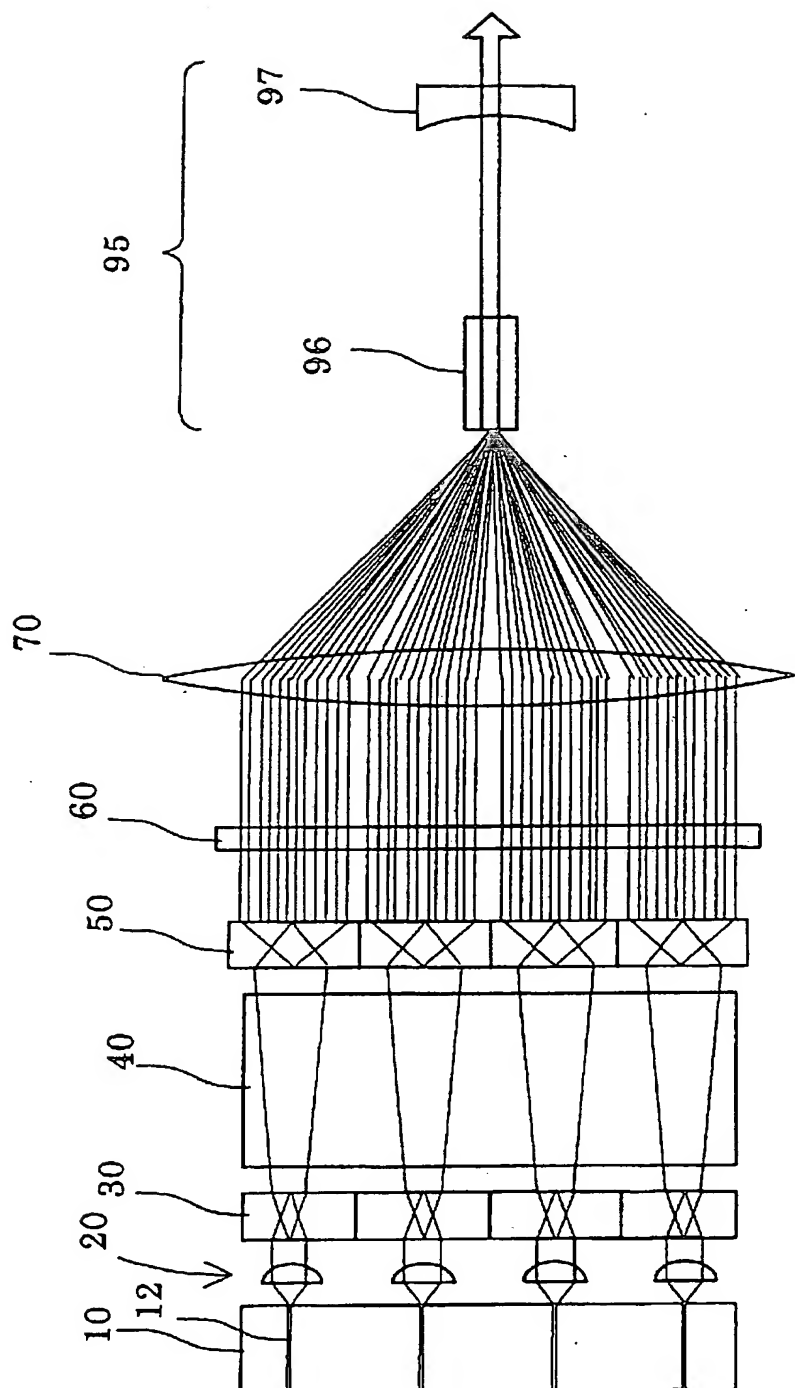


Fig.40

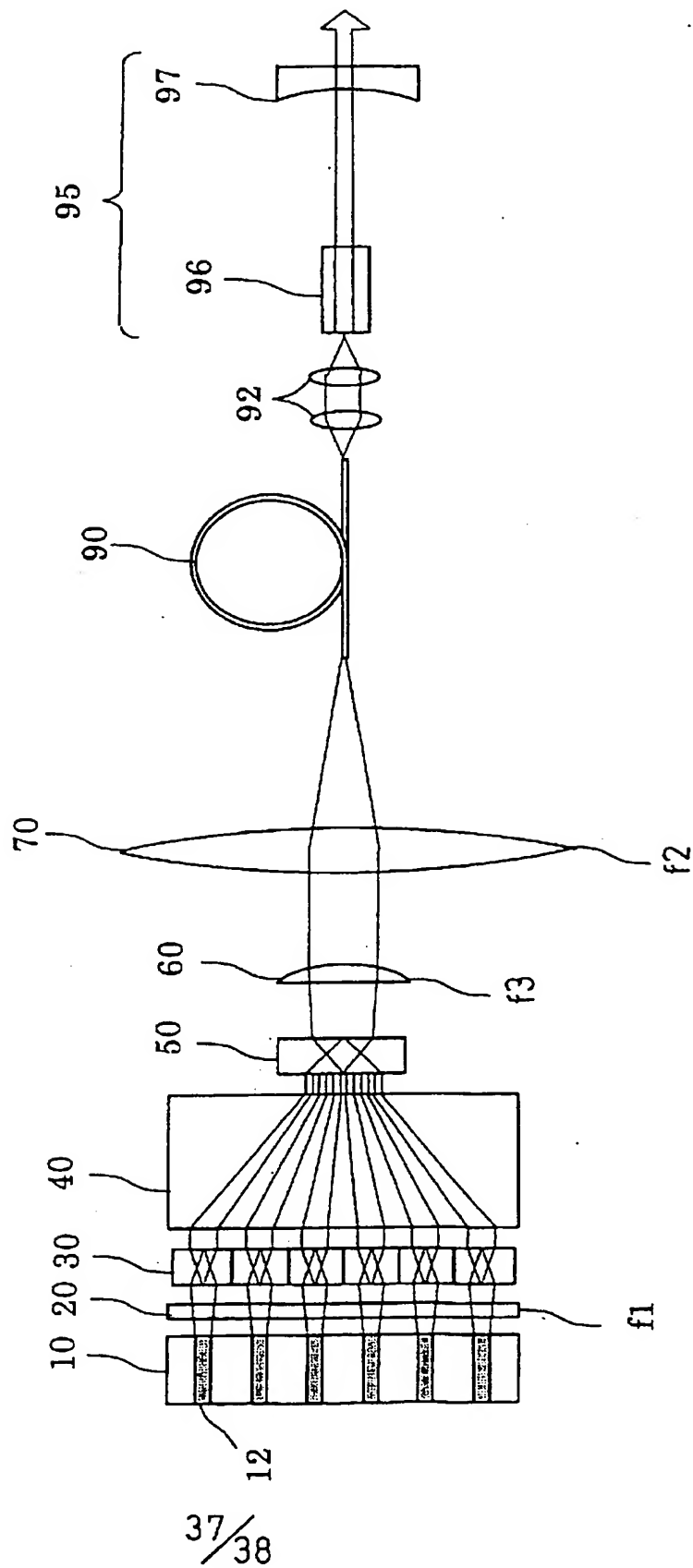
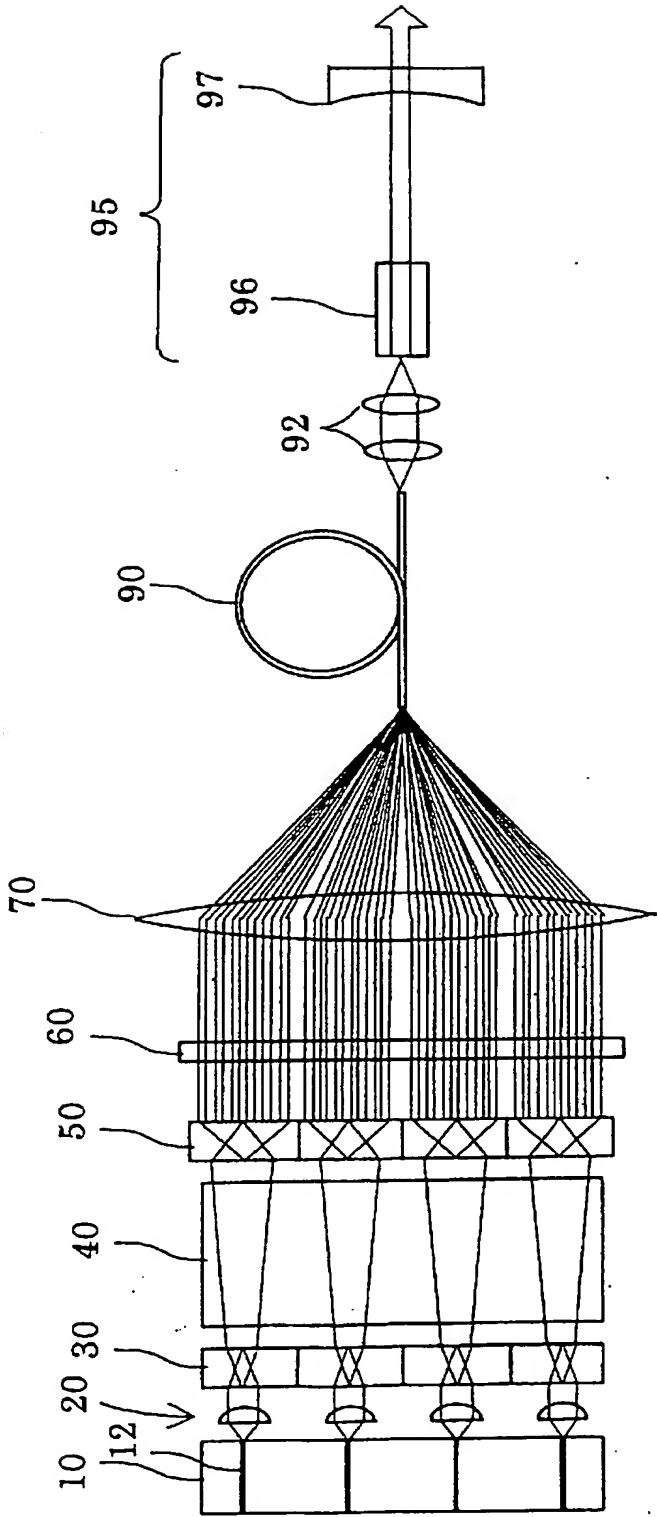


Fig. 41



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP02/02314

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B27/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B27/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JICST (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US, 5513201, A (Nippon Steel Corp.), 30 April, 1996 (30.04.96), Full text & JP 7-98402 A	1-30
Y	US, 5790576, A (SDL, Inc.), 04 April, 1998 (04.04.98), Column 6, line 45 to column 8, line 15; Fig. 11 (Family: none)	1-30
A	US, 5969872, A (Scitex Corp. Ltd.), 19 October, 1999 (19.10.99), Full text (Family: none)	1-30

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
28 March, 2002 (28.03.02)

Date of mailing of the international search report
09 April, 2002 (09.04.02)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. 7 G02B 27/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. 7 G02B 27/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICST(JOIS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US 5513201 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 30. 4月. 1996 (30. 04. 96) 全文 & JP 7-98402 A	1-30
Y	US 5790576 A (SDL, INC.) 4. 4月. 1998 (04. 04. 98) 第6カラム第45行目 ないし第8カラム第15行目、Fig. 11 (ファミリーなし)	1-30
A	US 5969872 A (SCITEX CORPORATION LTD.) 19. 10月. 1999 (19. 10. 99) 全文 (ファミリーなし)	1-30

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

28. 03. 02

国際調査報告の発送日

09.04.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田部 元史



2 X

2 9 1 2

電話番号 03-3581-1101 内線 3294